This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

H145.23.2

HARVARD UNIVERSITY

LIBRARY OF THE

Mineralogical Laboratory

UNIVERSITY MUSEUM

Gift of
J. E. Wolff

HARVARD UNIVERSITY,
CAMBRIDGE,
MASS.
Dept. of Mineralogy & Petrography.

ÉTUDE SUR LA DÉTERMINATION

DES

FELDSPATHS

DANS LES PLAQUES MINCES

AU POINT DE VUE

DE LA CLASSIFICATION DES ROCHES

CAMBRIDGE, MASS.
Dept. of Mineralogy & Petrography

ÉTUDE SUR LA DÉTERMINATION

DES

FELDSPATHS

DANS LES PLAQUES MINCES

AU POINT DE VUE

DE LA CLASSIFICATION DES ROCHES

PAR

(Auguste
A. MICHEL LÉVY

Ingénieur en chef des mines
Directeur du service de la Carte géologique détaillée de la France

AVEC 8 PLANCHES EN COULEURS

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MÊME MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

1894

Tous droits réservés.

Min-10

H145.23 2

1898 Oct. 21
Mineralog. Laboratory
Gift of
J. E. Wolff

HARVARD UNIVERSITY
CAMBRIDGE,
MASS.
Dept. of Mineralogy & Petrography

ÉTUDE

SUR LA

DÉTERMINATION DES FELDSPATHS

DANS LES PLAQUES MINCES

AU POINT DE VUE DE LA CLASSIFICATION DES ROCHES

La détermination précise des feldspaths dans les roches, notamment celle des plagioclases, de l'albite à l'anorthite, a de tout temps fait l'objet des efforts des minéralogistes et des pétrographes. Avant l'emploi du microscope et des plaques minces, leurs efforts se bornaient à l'étude des grands cristaux, soit que ces derniers fussent extraits des roches granitoïdes, soit qu'ils fissent partie des éléments de première consolidation des roches porphyriques. Et encore, dès que le grain de la roche étudiée atteignait un certain degré de finesse, le chalumeau ou les anciens microscopes polarisants devenaient impuissants et l'on devait se borner à interpréter, d'une facon plus ou moins plausible, les résultats de l'analyse chimique en bloc.

Cordier fut le premier à chercher une détermination plus précise des éléments qui entrent dans « *les pâtes lithoïdes des courants de lave de tous les âges* ».

Il découvrit [1], dans les poudres provenant de la trituration de ces pâtes, « *des fragments de feldspath, aplatis, offrant des indices de lames et de coupes rectangulaires, blancs et demi-transparents ou même limpides* ». Il cherchait à les préparer mécaniquement et à les séparer des éléments plus lourds, en plaçant la poudre à l'extrémité d'une plaque de verre inclinée et en

[1] *Mémoire sur les substances minérales dites en masse*, Ac. Sc., 16, 30 oct. et 6 nov. 1815.

frappant à l'autre extrémité. Puis s'aidant du microscope, pour vérifier le résultat de cette préparation mécanique rudimentaire. Cordier recourait en dernière analyse aux différences de fusibilité pour établir ses diagnostics.

Un demi-siècle plus tard, la double idée de Cordier portait ses fruits et prouvait sa fécondité ; d'une part M. Sorby (1858) apprenait à préparer facilement des plaques minces de roches, en montrait presque tous les éléments devenus transparents et y étudiait les inclusions liquides ou vitreuses. Dès lors les pétrographes transformaient le microscope ordinaire en microscope polarisant et appliquaient successivement, aux minéraux des roches, les méthodes optiques de la lumière parallèle et de la lumière convergente.

D'autre part M. Fouqué montrait que l'emploi judicieusement combiné de l'électro-aimant et des attaques ménagées à l'acide fluorhydrique, constitue un moyen puissant [1] de préparation et de purification. C'est également sous son impulsion féconde que nous avons appris à utiliser les liqueurs lourdes pour la séparation des minéraux par ordre de densité.

Ainsi la détermination des feldspaths au microscope a été, pour ainsi dire, la pierre de touche des progrès de la pétrographie moderne ; les procédés de la micro-chimie, inaugurée par Boricky, développée et perfectionnée par M. Behrens et par un grand nombre d'autres observateurs, leur ont été appliqués concurremment avec la séparation mécanique et l'analyse optique. Il est donc intéressant, à plus d'un titre, de chercher à coordonner les résultats acquis et de voir jusqu'à quel point les divers procédés de détermination des feldspaths, mis en œuvre par la science moderne, ont réagi sur la classification des roches et se sont montrés efficaces dans la pratique journalière et courante des laboratoires.

Ces résultats, à les considérer superficiellement, ne sont pas très satisfaisants ; le plus souvent les feldspaths, qui constituent à coup sûr l'élément blanc, non ferrugineux, le plus important des roches, sont classés sans plus de distinction dans l'orthose ou dans les plagioclases. Et cependant ces derniers peuvent varier de l'albite, minéral acide contenant plus de 68 p. 100 de silice,

[1] *Savants étrangers*, 1873, XXII, n° 11.

Dept. of Mineralogy & Petrography

à l'anorthite, minéral très basique à 43 p. 100 de silice ; les proportions relatives de potasse, de soude et de chaux y varient en corrélation avec la nature dominante des feldspaths et, à ne considérer que les familles de roches, sans même entrer dans le détail de leur classification, les derniers travaux de M. Iddings paraissent avoir prouvé que les rapports de ces bases, et notamment ceux de la potasse à la soude, sont parmi les plus caractéristiques des éléments chimiques des magmas.

Nous nous empressons d'ajouter que les pétrographes soigneux serrent, en général, de plus près la détermination des feldspaths des roches et nous verrons plus loin qu'il est désormais possible d'arriver à cette détermination précise, non seulement pour les grands cristaux, mais pour les microlites les plus ténus. Mais des doutes ont été jetés sur les méthodes qui conduisent à ce résultat, et il est nécessaire de recourir à des mesures optiques délicates : c'en est assez pour expliquer que certaines classifications négligent la détermination précise des microlites feldspathiques, c'est-à-dire de l'élément blanc le plus abondant et le plus acide d'un grand nombre de roches. Dès lors, cette négligence conduit nécessairement à des groupements artificiels, comprenant à la fois des roches très basiques et d'autres très acides, les unes très riches en chaux et pauvres en alcalis, et inversement. La classification des roches à deux temps, exclusivement basée sur la nature des minéraux de première consolidation, est un legs de l'ancienne pétrographie et une sorte d'aveu injustifié d'impuissance. Toute classification rationnelle doit s'appuyer sur les caractères que les roches portent pour ainsi dire avec elles, c'est-à-dire sur leur structure, reflet des conditions physiques de la cristallisation, sur leur composition minéralogique *intégrale*, qui représente avec fidélité la composition chimique de leur magma, tout en empruntant quelques traits accessoires aux conditions physiques précitées.

Ainsi la détermination précise, rapide et relativement facile de tous les éléments feldspathiques des roches est une des conditions indispensables à l'établissement d'une classification rationnelle : on peut en quelque sorte jauger la valeur d'une étude pétrographique au soin apporté par l'auteur à déterminer les feldspaths

de ses plaques minces. Toutes les Ecoles sont à peu près d'accord sur la classification des roches granitoïdes à grands éléments; au contraire, les discordances les plus fâcheuses éclatent, lorsqu'il s'agit des roches porphyroïdes à pâte compacte, et il est facile de vérifier que les têtes de chapitre de certaines classifications fort répandues comportent l'abus de ce malheureux mot de plagioclase dont nous avons cherché à critiquer l'acception trop vague et l'indétermination trop complète.

Ces considérations font ressortir l'importance des méthodes qui permettent d'aborder le problème de la détermination précise des plagioclases ; parmi elles, les procédés optiques sont de beaucoup les plus pratiques, tant à cause de leur élégance et de la simplicité des moyens qu'ils mettent en œuvre, que parce qu'ils se prêtent à une analyse détaillée des conditions de la cristallisation, étudiant pour ainsi dire un cristal zone par zone, macle par macle ; ils ne supposent ni la destruction de la plaque étudiée, ni des manipulations délicates ou compliquées. La théorie seule est relativement difficile ; la pratique est aisée. Nous nous proposons de passer en revue ces procédés optiques et de les compléter dans la mesure du possible.

L'influence des livres classiques dus à M. Rosenbusch est si considérable, notamment dans les pays de langue allemande et anglaise, qu'il est utile de rechercher par quels procédés ce chef d'école a abordé le problème qui nous occupe : dans la première édition de sa pétrographie (1873-1877), M. Rosenbusch recourt volontiers aux extinctions présentées par les sections de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) et rapportées à la trace des macles suivant la loi de l'albite. Il leur prête des maxima et des minima parfois caractéristiques, mais souvent aussi peu caractérisques ; ainsi, par exemple : « *les directions d'extinction « des plagioclases des diabases, rapportées à la trace de la macle, « dans les sections de la zone ph*^{1} (001) (100) *sont si variables « qu'elles paraissent inutilisables. Cependant en moyenne les « maxima et les minima semblent plus élevés que dans le groupe « des roches dioritiques*[1] ».

[1] Rosenbusch. *Phys. d. Mass. Gesteine*, 1877, 324.

M. Rosenbusch commettait une double erreur en prêtant un minimum à la zone de symétrie, qui passe, comme toutes les zones, par 0°, et en refusant au maximum une valeur caractéristique. Nous verrons que cette zone est restée la seule pratique pour l'étude des microlites feldspathiques et que, fort heureusement, elle peut donner à elle seule la solution complète du problème. Si nous insistons sur ces origines, c'est qu'elles expliquent jusqu'à un certain point l'état actuel de la question et ses répercussions sur les questions les plus générales de la pétrographie, telles que l'emploi ou le rejet des éléments du second temps de consolidation dans la classification des roches porphyriques.

Découragé par les insuccès auxquels l'avait exposé sa double méprise, M. Rosenbusch n'a plus recouru dans ses études postérieures qu'aux méthodes applicables aux cristaux maniables, et en particulier à la méthode de Max Schuster [extinctions sur les lamelles de clivage suivant p (001) et g^1 (010)]. D'où indétermination fréquente de l'élément blanc dominant de seconde consolidation et valeur exagérée attribuée aux grands cristaux plus maniables du premier temps.

Dès 1877 [1], j'ai cherché à démontrer que l'étude des sections en zone est susceptible de donner des résultats rigoureux ; pratiquement le manque de données numériques suffisamment précises

	ZONE PERPENDICULAIRE à g^1 (010)			ZONE pg^1 (001) (010)		
	1877	1890	1894	1877	1890	1894
Albite	15°45′	— 18°	— 16°	19°	+ 20°	+ 20°
Oligoclase . . .	18°30′	+ 4°	+ 5°	2°	+ 5°	+ ½°
Labrador . . .	31°15′	+ 32°	+ 27°	27°	— 31°	— 33°
Anorthite . . .	au delà de 37°	au delà de + 50°	+ 53°	au delà de 30°	— 60°	— 64°

[1] De l'emploi du microscope polarisant à lumière parallèle, *Ann. des Mines*, 1877, 392.

ne permettait pas de serrer de très près les maxima caractéristiques ; le tableau ci-joint rappelle ceux que j'ai donnés à cette époque. Un seul nombre laissait à désirer d'une façon notable ; c'est celui de l'oligoclase dans la zone perpendiculaire à g^1 (010). On trouvera d'ailleurs juxtaposés les résultats de 1890 (les *Minéraux des Roches*) et ceux qui découlent des épures beaucoup plus précises jointes à ce mémoire (1894).

Les données numériques relatives aux constantes optiques des feldspaths avaient été jusqu'alors empruntées à deux importants mémoires de M. Des Cloizeaux dans lesquels la position dans l'espace des axes principaux d'élasticité n_g, n_m, n_p avait été approximativement déterminée, ainsi que celle des axes optiques A et B. M. Des Cloizeaux avait également donné le résultat de nombreuses mesures d'extinctions dans les faces de clivage p (001) et g^1 (010), rapportées à l'arête commune pg^1 (001) (010)[1].

En 1880, Max Schuster [2] reprend ces dernières mesures, ainsi que celles relatives à l'écartement des axes optiques, et s'inspirant des idées de M. Tschermak sur l'isomorphisme des plagioclases, il cherche à démontrer que les feldspaths tricliniques forment une série continue de mélanges en toute proportion d'albite et d'anorthite. Relativement aux extinctions sur p (001) et sur g^1 (010), Max Schuster ajoute, aux valeurs numériques déjà trouvées par M. des Cloizeaux, la notion du signe de l'extinction ; cette précaution une fois prise, il ne peut plus y avoir confusion entre certaines albites et certaines andésines. L'application théorique que M. Mallard a faite des courbes tracées par Max Schuster, ne permet plus dès lors de douter : 1° que ces données numériques sont très approximativement exactes ; 2° que les plagioclases se comportent réellement au point de vue optique comme des mélanges d'albite et d'anorthite [3]. La seule question théorique, désormais en litige, ne peut porter que sur le fait de savoir si ces mélanges sont en nombre indéfini ou s'ils se rapportent à des proportions nettement définies des éléments composants. Ce point de vue théorique, qui supposerait au préa-

[1] *Ann. de Ch. et de Phys.*, 9e série, IV, 249, 1875, et IX, 1876,

[2] *Tsch. Minéral. und Petrogr. Mitt.*, III, 117, 1880.

[3] *Bull. Soc. Min. fr.*, III, 96, 1880.

lable une définition et une critique de l'isomorphisme, échappe au sujet que nous nous proposons de traiter ; tout au plus convient-il de rappeler que les études pétrographiques mettent hors de doute le grand nombre des mélanges possibles ; l'examen des zones d'accroissement de certains feldspaths et les procédés délicats basés sur les positions d'égale intensité lumineuse, appliqués aux sections g^1 (010), prouvent en effet d'abord le grand nombre de zones d'accroissement optiquement différentes dans certains grands cristaux et, en outre, ils établissent que ces zones empruntent leurs propriétés optiques à deux éléments distincts seulement [1].

La reproduction synthétique des feldspaths, par voie de fusion ignée et de recuit, nous avait amenés, M. Fouqué et moi, à reconnaître que l'albite ne cristallise pas dans ces conditions et qu'il semble y avoir une tendance à la production de types stables sans passages par des variétés intermédiaires. En d'autres termes, dans nos fusions qui donnent principalement des variétés microlitiques, les feldspaths, qui se produisent, ne commencent qu'aux oligoclases, et paraissent sauter sans transition des types andésitiques acides (s'éteignant en long dans la zone d'allongement), aux labradors [2] (s'éteignant à 30° environ).

Ces constatations, qui peuvent s'expliquer de bien des façons, et en particulier par l'existence de types plus stables dans les conditions de genèse que supposent la fusion ignée et le recuit relativement rapide du magma fondu, ont porté ombrage aux disciples de M. Tschermak et ils ont mis en doute l'efficacité de la méthode dite de statistique pour la détermination des microlites. Les uns basent leur critique sur ce que la coexistence de de plusieurs variétés de feldspath doit fournir comme maximum celui du feldspath à maximum le plus grand. Les autres (et Max Schuster a été du nombre) ont même mis en doute que les maxima soient capables de distinguer le labrador de certaines bytownites.

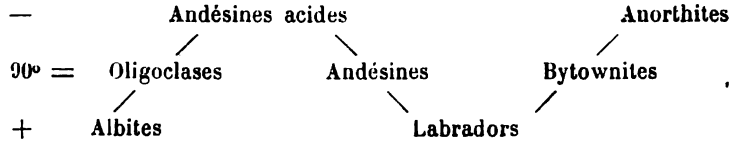
On peut répondre à la première série de critiques que la coexistence de plusieurs feldspaths dans les grands cristaux s'accuse

[1] *Les Minéraux des Roches*, p. 73 et suiv.
[2] *Bull. Soc. Min. fr.*, III, 63, 1880.

soit par l'étude toujours possible des zones d'accroissement, soit par des différences de forme, de volume ou même de macles caractéristiques. Le microcline, l'orthose, l'anorthose même se distinguent des autres feldspaths et ces derniers se groupent généralement entre eux. Quant aux microlites, ils sont en général de prise rapide et relativement homogènes ; tout au plus est-il loisible de constater l'existence de trachy-andésites à microlites d'orthose et de plagioclases. D'ailleurs les méthodes exposées plus loin permettent de faire la lumière, même pour les microlites, car on verra qu'une seule section suffit souvent pour résoudre le problème complet, afférent au plagioclase dont elle est composée.

La seconde série de critiques est injustifiée : les maxima caractéristiques de la zone de symétrie commencent à 16° et il n'y a plus d'amphibologie possible, des andésines basiques aux anorthites ; les oligoclases eux-mêmes sont en général caractérisés et le doute n'était permis qu'entre les albites et certaines andésines acides. Il convient d'ajouter que Max Schuster s'est mal rendu compte de la succession de positions occupées dans l'espace par les axes d'élasticité des feldspaths. Le croquis schématique qu'il a joint à son mémoire et que M. Rosenbusch a encore reproduit sans critique en 1885, est inexact ; il est facile de s'en convaincre en remarquant que ce croquis ne tient aucun compte du fait, démontré pratiquement et théoriquement, que, pour un des oligoclases, l'axe n_p de plus grande élasticité coïncide sensiblement avec l'arête pg^1 (001) (010).

Le mémoire de Max Schuster met en évidence les changements fréquents de signe des bissectrices aiguës dans les plagioclases : il est maintenant bien avéré que, de l'albite à l'anorthite, il y a trois changements de signe, et par suite trois fois passage de l'angle 2V par 90°. Un de ces passages se fait dans les oligoclases acides, un autre dans les andésines proprement dites, un troisième dans les bytownites.



En 1884, M. Des Cloizeaux[1] a publié une nouvelle et très nombreuse série d'observations sur les oligoclases et les andésines. Elle comprend et explique précisément cette évolution si curieuse qui amène, pour certains oligoclases acides, le plan des axes optiques à être perpendiculaire à g^1 (010), tandis que, pour certaines variétés plus basiques, l'axe n_p d'élasticité maximum coïncide à peu près rigoureusement avec l'arête pg^1 (001) (010).

Utilisant ces données nouvelles, j'ai tracé en 1888, dans les *Minéraux des Roches*[2], des croquis plus exacts des deux principales zones de symétrie et j'ai pu corriger le maximum de l'oligoclase dans la zone de symétrie de la macle de l'albite (voir p. 5). J'ai aussi cherché à élucider les propriétés générales des extinctions en zone, à en utiliser le signe optique, enfin à y appliquer la théorie des mélanges. C'est ainsi que toutes les courbes afférentes aux divers plagioclases doivent, pour une même zone, se couper au point même où la courbe de l'albite croise celle de l'anorthite. Pratiquement les épures soignées montrent fort bien ce point commun qui, dans la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) par exemple, se trouve dans l'angle aigu fait par le plan de zone passant par pg^1 (001) (010) avec la section droite du prisme, à 8° de cette dernière ; l'extinction s'y fait à + 1° de la trace g^1 (010) (voir fig. 2, p. 32).

La première partie des *Minéraux des Roches* contient également une méthode pratique pour déterminer l'angle des axes optiques autour d'une bissectrice à laquelle la section considérée est perpendiculaire[3]. Cette méthode a de fréquentes applications dans l'étude des feldspaths, précisément à cause de leurs changements de signe trois fois répétés.

Dans la seconde partie faite en collaboration avec M. Lacroix, nous avons donné[4] des croquis en projection orthogonale (et non stéréographique, comme l'a cru M. de Fédoroff), donnant la position des axes n_g, n_m et n_p, et fournissant une notion de la façon dont le plan des axes optiques évolue de l'albite à l'anorthite.

[1] *Bull. Soc. Min. fr.*, VII, 249, 1884.
[2] *Les Minéraux des Roches*, 1re partie, p. 36.
[3] *L. c.*, 94.
[4] *L. c.*, 198 et suiv.

En 1890[1], l'étude des *Roches volcaniques des Puys et du Mont-Dore* m'a induit à chercher les caractères précis auxquels on peut recourir pour reconnaître, en plaque mince et *dans des sections orientées au hasard*, celles d'entre elles qui coïncident sensiblement avec g^1 (010). Lorsqu'on peut en outre déterminer l'orientation de l'angle aigu ph^1 (001) : (100), les données de Max Schuster deviennent alors applicables et l'étude des zones d'accroissement est facilitée par la disparition des macles de l'albite qui n'en masquent pas les propriétés. L'application à l'étude des roches d'Auvergne[2] montre que cette méthode conduit à de bons résultats ; car ils ont été en partie vérifiés par l'analyse chimique. Tout récemment en effet, M. Fouqué a analysé et étudié par de nouvelles méthodes les grands cristaux des basaltes ophitiques du Mont-Dore ; ses résultats coïncident précisément avec mes propres déterminations.

Néanmoins on peut appliquer, à la recherche de la face g^1 (010), la double critique suivante : elle est assez longue et pénible, comme toute méthode basée sur la recherche en plaque mince d'une face déterminée qui n'a pas beaucoup de chances de se trouver rapidement, malgré la profusion des sections présentées par les plaques minces ; elle ne s'applique pas en général aux microlites très fins, qui, aplatis suivant g^1 (010), disparaissent, pour ainsi dire, quand ils ne se présentent pas à peu près sur leur tranche.

En 1893[3], M. de Fédoroff a fait paraître une remarquable étude sur la série des feldspaths tricliniques, basée sur l'application du principe du théodolite à l'orientation des plaques minces sous le microscope polarisant. Au lieu de laisser constamment la plaque mince perpendiculaire à l'axe du microscope, M. de Fédoroff lui imprime deux rotations successives à angle droit et l'amène ainsi à une orientation numériquement déterminée, après correction de la déviation que la réfraction fait subir au faisceau de lumière parallèle qui sort en définitive suivant l'axe du microscope. M. de Fédoroff se borne à chercher, en lumière parallèle, les positions d'extinction continue qui correspondent

[1] *C. R. A. S.*, 10 novembre 1890.
[2] *Bull. Soc. Géo.*, 674 et suiv., 1891.
[3] *Zeitschr. für Krystallogr.*, XXII, 3.

au cas où le faisceau de rayons polarisés traverse la plaque parallèlement à un axe optique. Cet axe est ainsi déterminé par rapport à une face connue, g^1 (010) ou p (001) par exemple, suivant laquelle la plaque mince a été taillée. L'extinction de cette face fournit une autre donnée numérique à laquelle M. de Fédoroff superpose l'extinction suivant l'autre pinacoïde p (010) ou g^1 (001), telle qu'elle résulte des courbes de Max Schuster.

Ainsi les données observées par M. de Fédoroff sont : la position d'un axe optique A dans l'espace et l'extinction suivant un des pinacoïdes p (001) ou g^1 (010). Il admet pour l'autre pinacoïde g^1 (001) ou p (010) le chiffre qui se déduit des courbes de Max Schuster et dès lors, en s'appuyant sur le théorème de Fresnel, par une construction simple en projection stéréographique, il détermine l'autre axe optique B, d'où découlent les positions de n_g, n_m, n_p. On remarquera que le chiffre déduit des courbes de Max Schuster ne varierait pas, alors même qu'on supposerait que leurs ordonnées ne sont pas à leur place quant aux rapports de l'albite à l'anorthite.

En d'autres termes, il suffit d'admettre que le rapport entre les extinctions sur p (001) et sur g^1 (010) a été donné exactement par Max Schuster, sans même s'inquiéter de l'abscisse à laquelle ils correspondent, c'est-à-dire de la composition chimique.

Les résultats de M. de Fédoroff sont en somme très voisins, même pour l'anorthite, de ceux que nous avons donnés dans les croquis en projection orthogonale des *Minéraux des Roches;* M. de Fédoroff les a groupés sur une projection stéréographique perpendiculaire à l'arête verticale h^1g^1 (100) (010) du prisme : on y voit, comme dans l'épure (fig. 198 et 199) des *Minéraux des Roches*, n_p partir du plan g^1 (010) pour l'albite, former une boucle, puis repasser dans ce plan pour un oligoclase basique, précisément suivant l'arête pg^1 (001) (010), et s'en éloigner définitivement. En même temps n_g se promène non loin du plan perpendiculaire à l'arête pg^1 (001) (010) et passe plusieurs fois par ce plan, notamment du labrador à l'anorthite.

M. de Fédoroff a donc vérifié et confirmé, par une méthode nouvelle, les données que nous n'avions pas colligées sans difficulté et sans l'appréhension de quelque erreur grave d'orientation,

surtout pour l'anorthite dont les données optiques n'avaient pas fait l'objet de déterminations suffisamment précises.

En égard aux observations précédentes, il n'est pas étonnant que les épures de M. de Fédoroff confirment presque entièrement celles des figures 13 et 14 des *Minéraux des Roches*, pour ce qui a trait aux zones principales pg^1 (001) (010) et perpendiculaire à g^1 (010). Il y a cependant deux observations à faire au sujet des figures 20 et 22 de M. de Férodoff. Dans la figure 22, les courbes afférentes à l'albite et à l'oligoclase doivent avoir partout leurs ordonnées changées de signe. Quant à la figure 20, on y voit toutes les courbes des plagioclases passer par le point commun prévu par la théorie, à l'exception de celle de l'anorthite : M. de Fédoroff a supposé en effet que ce feldspath a un de ses axes optiques rigoureusement situé dans g^1 (010). Mes propres observations ne confirment pas cette singularité, non plus que cette anomalie. Ni l'anorthite de la diorite orbiculaire de Corse, ni celle de la Somma n'y satisfont avec rigueur; il y a deux ou trois degrés de différence qui ramènent la courbe de l'anorthite à passer par le point commun de la zone de symétrie et qui identifient la figure 20 de M. de Fédoroff avec la figure 14 des *Minéraux des Roches*. (Voir p. 32, fig. 2, anorthite.)

M. de Fédoroff a en outre appelé l'attention sur un certain nombre de sections intéressantes ; nous verrons plus loin que plusieurs de ses courbes sont inexactes : notamment les courbes afférentes aux extinctions simultanées des macles de l'albite, dans l'albite et dans l'oligoclase, et celles qui se rapportent aux sections dont une série de lamelles hémitropes sont perpendiculaires à un des axes optiques [1]. Malgré ces quelques défectuosités, la tentative de M. de Fédoroff est des plus intéressantes et tout à fait suggestive.

En juillet 1893, M. F. Becke [2] a donné la description d'un procédé qui permet de juger avec une vraie sensibilité de la grandeur relative des indices de réfraction de deux substances qui se touchent intimement en plaque mince. Comme les felds-

[1] Figures 15, 16, 17 et 18.

[2] *Ueber die Bestimmbarkeit der Gesteinsgemengtheile auf Grund ihres Lichtbrechungs Vermogens.* Wiener Akad. Juillet 1893, I.

paths sont en série nettement croissante à ce point de vue de l'orthose à l'albite et de l'albite à l'anorthite, l'application de ce procédé a conduit M. Becke à des comparaisons déjà fort intéressantes et même à de véritables déterminations [1], quand les feldspaths étudiés touchent un minéral d'indice connu et voisin, comme le quartz, par exemple.

Nous verrons, à la fin de ce mémoire, que la méthode de M. Becke, qui nous paraît féconde, peut être généralisée et appliquée à la recherche des indices de réfraction, dans de certaines limites.

Une des graves difficultés contre lesquelles se heurtait toute tentative ayant pour objet de dresser des épures vraiment précises, synthétisant les propriétés optiques des plagioclases consistait dans l'inhomogénéité des cristaux étudiés et dans l'incertitude des types chimiques des feldspaths les mieux étudiés au point de vue optique. Il est nécessaire de mettre en œuvre tous les moyens actuellement en usage pour purifier les types qui doivent servir à la fois d'étalons chimiques et optiques, et en outre, parmi les déterminations optiques, d'éliminer celles qui varient trop rapidement pour la moindre erreur d'orientation des coupes minces. La face p (001) est dans ce cas, par exemple, pour les feldspaths basiques.

M. Fouqué a poursuivi, dans ces dernières années, des recherches dont il a bien voulu me communiquer quelques résultats et dont la haute précision doit permettre l'établissement de ces points de repère réellement précis, dont il convient de partir pour chercher à tracer des épures dignes de confiance. Sa méthode, qu'il a exposée dans son cours du collège de France de 1893-1894, consiste à chercher l'extinction, suivant le plan des axes optiques, des plaques perpendiculaires à n_g et à n_p, rapportée aux traces des plans g^1 (010) on p (001). L'écartement vrai des axes, et par suite le signe de la bissectrice aiguë ont été cherchés dans chaque cas. La purification et l'analyse chimique ont soigneusement accompagné chaque feldspath étudié ; enfin, autant que possible n_p et n_g ont été repérés par rapport aux faces p (001) et g^1 (010).

[1] *Tonalit der Rieserferner*. T. M. P. Mitth. 1893, 380, XIII.

La méthode de M. Fouqué donne un nouveau moyen de détermination des feldspaths présentant des sections favorablement orientées et donnant une bonne image en lumière convergente. Elle ne supprime pas l'indécision entre les albites et les andésines, car les données numériques qui leur sont afférentes, sont analogues et seulement distinctes par le signe de la bissectrice aiguë, qui est parfois difficile à déterminer en plaque très mince.

PRINCIPE DES NOUVELLES ÉPURES

COORDINATION DES DONNÉES RELATIVES AUX EXTINCTIONS ET A LA BIRÉFRINGENCE

La tentative de M. de Fédoroff, confirmant dans leur ensemble les croquis des *Minéraux des Roches* et d'autre part les données nouvelles, optiques et chimiques, que M. Fouqué a bien voulu me communiquer, m'ont décidé à entreprendre des épures à grande échelle sur lesquelles, en des points suffisamment rapprochés, j'ai pu inscrire des nombres caractéristiques des principales propriétés optiques de la série des plagioclases

J'ai choisi l'épure stéréographique, à cause de ses propriétés connues, conservation des angles etc. ; j'ai pris, comme plan de projection, la section droite du prisme, d'abord parce que M. Des Cloizeaux a choisi ce même plan pour représenter l'albite et l'anorthite, ensuite parce que la principale zone de symétrie, celle perpendiculaire à g^1 (010), s'y présente fort bien ; les pôles en sont échelonnés suivant le diamètre vertical de la figure. Enfin ce choix permet une comparaison facile avec la tentative de M. de Fédoroff.

Ainsi orientées, avec le pôle de la face p (001) dans le quadrant inférieur de droite, les épures se prêtent à la représentation facile des sections en zone autour d'une droite quelconque contenue dans g^1 (010) ; les pôles de ces sections décrivent un des méridiens passant par le diamètre horizontal. Nous allons voir que ces zones permettent de résoudre facilement les diverses questions à l'étude ; une de leurs propriétés consiste en ce que la trace de g^1 (010) sur chaque plan de la zone est perpendiculaire au méridien passant par le pôle de ce plan ; ce méridien représente en effet le plan de

l'espace passant par la normale à g^1 (010) et par la normale à la section considérée.

Le canevas stéréographique à l'encre bleue représente les méridiens de 5 en 5°; ils sont recoupés par des parallèles à g^1 (010 tracés également de 5 en 5°.

La plus importante des données optiques afférentes aux plagioclases coupés dans une lame mince, consiste dans l'angle d'extinction que présente la section, quand on rapporte cette extinction à la trace de la macle de l'albite, c'est-à-dire à celle du plan g^1 (010). Aux principales intersections des méridiens et des parallèles, on a inscrit des nombres qui donnent en degrés ces angles d'extinction. Ils sont comptés de 0 à 90°, positivement à droite de la trace g^1 (010) (caractères à l'encre rouge), négativement à gauche (caractères à l'encre noire), pour un observateur supposé placé au-dessus de l'épure, perpendiculairement à chaque rayon de la sphère, le corps parallèle à la trace g^1 (010), c'est-à-dire aux parallèles, la tête plus haute que les pieds pour le demi-cercle inférieur et plus basse pour le demi-cercle supérieur.

On sait que le théorème de Fresnel est d'une application facile en projection stéréographique : soit Z le pôle d'une section, A et B les traces des axes optiques ; si l'on décrit les deux grands cercles ZA, ZB, l'extinction a lieu suivant les deux grands cercles bissecteurs des angles AZB. Dans l'épure, on a choisi celui des deux qui se trouve dans le même angle AZB que la bissectrice négative n_p; au point de vue pratique l'angle inscrit correspond donc à la direction d'extinction de la section considérée qui donne une réaction optique négative et qui correspond au plus petit indice principal n'_p.

Pour calculer les extinctions, on peut recourir aux formules que j'ai données [1], et qui se rapportent aux extinctions des sections en zone, rapportées à l'arête même autour de laquelle

[1] Soit Z le point où l'arête de zone vient percer la sphère, A et B les axes optiques ; posons (*les Minéraux des Roches*, p. 9)

$$\text{angle AZB} = 2\gamma \qquad \text{angle AZ} = \mu \qquad \text{angle BZ} = \nu$$

Appelons x l'angle du plan mobile de la zone avec le plan bissecteur de

pivotent les sections. Dans le cas qui nous intéresse, les diverses arêtes de zone sont comprises dans le plan $g^1(010)$ et représentent précisément sa trace qui est la ligne de macle. Chacune des zones comporte une extinction 0° ou 90° et une seule. Il y a, à proprement parler, indétermination dans la face g^1 (010), mais chacune des zones y arrive par un angle limite parfaitement déterminé.

La projection stéréographique se plie très bien à une méthode graphique basée sur une double rotation autour de la normale à g^1 (010) et du diamètre parallèle à la trace de ce plan sur la section droite du prisme, en d'autres termes autour des deux diamètres horizontal et vertical du cercle de l'épure. Au moyen de cette double rotation, on amène un pôle quelconque à coïncider avec le centre de figure O. Les axes optiques A et B occupent alors de nouvelles positions A′ et B′, et l'angle cherché est donné en grandeur et en signe par celui que fait la bissectrice A′ O B′ avec le diamètre vertical.

Il est dès lors possible de constituer une sorte d'abaque donnant méthodiquement les divers points A′, B′, qui correspondent aux pôles situés, par exemple de 10° en 10°, à l'intersection des méridiens et des parallèles tracés en traits de force bleus, dans l'épure stéréographique. Tous les points A′, B′, se trouvent à l'intersection de cercles parallèles au plan normal à $g^1(010)$ et passant par h^1g^1, (100)(010), et d'autres cercles dont le centre se meut sur la normale à g^1 (010).

l'angle AZB, et y l'extinction comptée à partir de l'arête de zone. On a la relation :

$$\text{Cot. } 2y = \frac{A + B \sin^2 x}{C \cos x + D \sin x}$$

avec les valeurs suivantes de A, B, C, D :

$A = \text{Cos } \mu \cos \nu - \sin \mu \sin \nu \cos^2 \gamma.$
$B = \text{Sin } \mu \sin \nu.$
$C = \text{Cos } \gamma \sin (\mu + \nu).$
$D = \text{Sin } \gamma \sin (\mu - \nu).$

La recherche des points, pour lesquels l'extinction est égale à 0° ou à 90°, se résume dans la discussion de l'équation

$$\text{tg } x = \cos \gamma \frac{\sin (\mu + \nu)}{\sin (\mu - \nu)}$$

En effet, la rotation autour de la normale à g^1 (010) dispose les points A′, par exemple, sur un cercle parallèle à g^1 (010). Puis la rotation autour du diamètre vertical de l'épure transporte sur la sphère ce cercle qui, en vertu des propriétés de la projection stéréographique, se projettera suivant une série de circonférences dont les centres seront les projections des sommets des cônes circonscrits.

Une fois l'abaque préparée, on relève en même temps que les angles A′OB′, les angles $= A'O\mu$, $B'O = \nu$; le cercle gradué périphérique donne facilement la première lecture ; les cercles concentriques à O, tracés de 5 en 5° sur l'épure, fournissent avec une approximation suffisante les angles μ et ν et le produit $\sin\mu \sin\nu$ donne une notion convenable de la biréfringence, exprimée en dixièmes de la biréfringence maximum.

Comme vérification, les deux angles limites d'extinction, dans g^1 (010), doivent être égaux en valeur absolue et simplement de signes contraires ; ces mêmes angles doivent en outre se succéder régulièrement de zone en zone et varier précisément de l'angle dont on a fait tourner l'arête de zone autour de la normale à g^1 (010). Le produit $\sin\mu \sin\nu$ doit être constant pour g^1 (010) et même les angles μ et ν doivent être séparément constants pour cette face, ce qui revient à dire que les points A′ et B′ afférents à g^1 (010) doivent se trouver sur des cercles concentriques à O. L'erreur commise ne dépasse pas 1° pour les extinctions et 0,05 pour la biréfringence.

Une fois ces divers nombres inscrits à côté des pôles auxquels ils se réfèrent, utilisant une idée qui m'a été suggérée par mon ami et collaborateur M. Le Verrier, j'ai tracé des courbes réunissant d'une part les biréfringences, d'autre part les extinctions de même valeur.

Les courbes de biréfringence se trouvent symétriquement disposées autour des plans principaux d'élasticité optique qu'elles doivent couper à angle droit. La première courbe autour de chacun des axes optiques A et B comprend dans son intérieur tous les points de biréfringence 0, 1 et 2 dixièmes ; elle réunit les points ayant une biréfringence approximative de 0,25. L'intervalle entre cette courbe et la suivante comprend les pôles de 2,5

à 3,5 dixièmes, et ainsi de suite jusqu'à la dernière courbe autour de n_m qui correspond à 8,5 dixièmes de la biréfringence totale et entoure ainsi les pôles à 9 et 10 dixièmes. On a teinté en bistre plus estompé les courbes correspondant aux plus faibles biréfringences, de façon à permettre une approximation immédiate, à la simple vue de la région occupée par le pôle à l'étude.

Les courbes des extinctions sont en traits rouges continus de 10° en 10°, pointillés quand on a dû recourir à des subdivisions plus nombreuses. Toutes ces courbes passent par les pôles de g^1 (010) et par les axes optiques A et B. Il est facile de voir qu'elles doivent s'arrêter à ces axes ; leur prolongation diamétrale se fait par les courbes correspondant aux extinctions complémentaires, changées de signe.

Parmi toutes ces courbes, la plus intéressante est celle qui correspond à l'extinction 0° (trait de force rouge plein) et à l'extinction 90° (trait de force rouge en points longs). Les pôles, situés sur ces courbes, correspondent à des sections qui s'éteignent quand la ligne de macle coïncide avec un des fils du réticule ; elles limitent donc sur l'épure les changements de signe des nombres inscrits : d'un côté les caractères rouges qui correspondent aux extinctions positives, à droite de la trace g^1 (010) dans le sens des aiguilles d'une montre ; de l'autre les caractères noirs correspondant aux extinctions négatives.

Puisque les méridiens représentent les pôles de sections en zone, ne passant qu'une fois par 0° ou par 90°, pour une rotation de 180° du plan mobile de la zone, on voit que la courbe 0° — 90° coupe une fois chaque méridien et ne le coupe qu'une fois. Pour deux de ces méridiens, le point 0° ou 90° coïncidera avec les pôles de g^1 (010) ; ce sont ceux qui passent par les directions principales d'élasticité contenues dans g^1 (010) ; dès lors la courbe 0° — 90° ne coupera pas ces deux méridiens autre part qu'aux pôles g^1 (010) ; mais elle leur sera tangente en ces points.

Les deux grands cercles principaux d'élasticité $n_g n_m$, $n_p n_m$ jouissent également de la propriété de n'être coupés qu'une fois par la courbe 0 — 90° ; quant au cercle $n_g n_p$, il croise en outre la courbe en question aux deux axes optiques A et B.

Un coup d'œil, jeté sur les épures, permet de juger du degré de

dissymétrie optique que possède chacun des plagioclases, et de la répercussion que cette dissymétrie fait naître dans la distribution des courbes qui représentent la biréfringence et les extinctions. L'albite est presque symétrique par rapport au plan vertical passant par la normale à g^1 (010) et par $h^1 g^1$ (100) (010); l'oligoclase est presque rigoureusement symétrique par rapport à g^1 (010). Dans tous les autres feldspaths la dissymétrie s'accuse plus ou moins; mais on voit qu'elle se correspond pour ainsi dire, à droite et à gauche de g^1 (010), pour les albites-oligoclases par rapport aux oligoclases-andésines. La distinction est facile, lorsqu'on sait dans quel quadrant se trouve le pôle p (001); elle doit être et est, en effet, difficile quand l'orientation du cristal est inconnue.

Macles. — Les plagioclases présentent, avec une constance presque absolue, la macle de l'albite, combinée avec celle de Carlsbad. Les grands cristaux anciens offrent souvent un développement transversal sensible, perpendiculairement à la face g^1 (010) et s'allongent tantôt suivant pg^1 (001) (010), tantôt suivant $h^1 g^1$ (100) (010); mais à mesure qu'on s'éloigne de ces types lentement élaborés et accrus par zones successives, on trouve d'une façon à peu près uniforme les plagioclases en lamelles minces, aplaties suivant g^1 (010), composés de deux parties (1) et (2), à peu près d'égale épaisseur, maclées suivant la loi de Carlsbad et présentant, chacune, des lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite (1′) et (2′). Il est donc extrêmement important d'avoir pour ainsi dire sous les yeux, pour chaque pôle représentant une section d'une orientation déterminée, non seulement les caractéristiques de l'individu optique (1), mais encore celles des individus (1′), (2) et (2′) définis comme ci-dessus.

L'épure fondamentale (1) donne immédiatement la réponse à ces questions; l'axe de rotation de la macle de l'albite est la normale à g^1 (010); la rotation de 180° amène tous les pôles de l'épure au-dessous du plan de projection; les pôles diamétralement opposés se reproduisent donc symétriquement par rapport à la trace g^1 (010), c'est-à-dire au diamètre vertical, mais les extinctions sont changées de signe. Ainsi au pôle a appartenant au cristal (1),

et qui correspond à une extinction *a*, la macle de l'albite joint un cristal (1′) dont l'extinction est donnée par le pôle *c*, changée de signe, soit — *c* (fig. 1).

Pour la macle de Carlsbad, il y a rotation de 180° autour de l'arête h^1g^1 (100) (010) ; le cristal (2) s'éteindra donc comme le pôle *f*, symétrique de *a* par rapport au centre de figure qui correspond à cette arête, et la rotation effectuée n'emporte évidem-

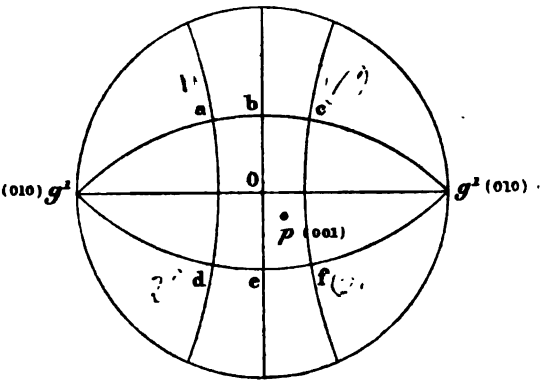


Fig. 1. — Pôles conjugués.

ment aucun changement de signe. L'extinction de (2) sera donc égale à *f*. On verrait de même que le cristal (2′) s'éteint comme le pôle *d* changé de signe, soit — *d*.

Les quatre pôles *acdf* peuvent donc être dits conjugués les uns des autres.

Les épures, ainsi interprétées, montrent immédiatement l'existence de trois zones de symétrie ; dans la plus importante, perpendiculaire à g^1 (010), les pôles des sections sont situés sur la trace de ce plan qui coïncide avec le diamètre vertical du cercle de projection ; dès lors $c = a$ et $d = f$. Si l'arête de zone coïncide avec l'intersection de g^1 (010) et de la section droite du prisme, les pôles se succèdent sur le diamètre horizontal et l'on a $a = d$ avec $c = f$. Enfin si l'arête de zone coïncide avec h^1g^1 (100) (010), les pôles suivent le cercle de contour de l'épure et les égalités suivantes s'imposent : $a = -f$ avec $c = -d$. Dans le premier cas, les lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite (1) et (1′), (2) et (2′) s'éteignent symétriquement de part et d'autre

de la ligne de macle. Dans le second cas, ce sont les lamelles (1) et (2'), (1') et (2) qui s'éteignent ainsi ; enfin dans le troisième, il y a extinction symétrique entre (1) et (2), (1') et (2').

Ces considérations montrent aussi que la courbe des extinctions simultanées des lamelles hémitropes, suivant la loi de l'albite, ne peut croiser la courbe 0-90° qu'aux axes optiques et sur le diamètre vertical de l'épure ; car les pôles de ces lamelles doivent être, par raison de symétrie, sur les méridiens du canevas stéréographique, et ces méridiens ne croisent ladite courbe qu'en un seul point. Il est facile de voir, en jetant les yeux sur l'épure de l'albite (pl. I), que la courbe, afférente à ce feldspath et tracée par M. de Fédoroff, est inexacte. En fait on trouve facilement son tracé, soit en suivant chaque méridien de part et d'autre du diamètre vertical, soit en superposant à l'épure un calque retourné des courbes d'extinction ; elle se dirige vers le haut, comme dans les autres fedspaths.

La planche VIII représente graphiquement une dernière donnée qu'il peut être utile de superposer aux précédentes : elle fournit approximativement l'angle que fait la trace du plan p (001) avec la ligne de macle, compté dans le même sens et avec les mêmes signes que ceux des extinctions. Le pôle p (001) choisi est intermédiaire entre ceux de l'albite et de l'anorthite. Il suffit donc de retrancher les nombres de même signe, et d'ajouter ceux de signe contraire, pour pouvoir rapporter les extinctions aux traces que laisse parfois le clivage p (001).

CHOIX DES CONSTANTES OPTIQUES

DES PRINCIPAUX PLAGIOCLASES

L'accord est à peu près complet entre les divers auteurs pour l'albite, l'oligoclase normal Ab_3An_1 et le labrador 1 : 3 : 6,66 = $Ab_1\ An_1$ [1].

L'andésine a dû être interpolée ; car les données actuelles sont discordantes et s'appliquent à des feldspaths de composition très variable.

Pour l'anorthite, nous ne possédons de données à peu près certaines que sur celui de la Somma, qui contient encore un peu d'alcalis ; quelques échantillons authentiques nous ont permis de constater que les deux séries de lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite ne deviennent pas rigoureusement perpendiculaires à un axe optique simultanément.

Nous avons choisi, autant que possible, nos types parmi ceux étudiés récemment par M. Fouqué ; comme il a déterminé avec un soin extrême les extinctions perpendiculairement à n_g et n_p, nous avons orienté le plan des axes optiques de façon à obtenir très approximativement les mêmes résultats. Généralement la position de n_g ou de n_p est connue par l'angle que ces axes d'élasticité font avec les plans p (001) et g^1 (010), parfois avec m(110) ou t($\bar{1}$10). Dès lors un seul des angles d'extinction, perpendiculairement à cet axe, suffit pour fixer la

[1] Nous prenons ces symboles dans le sens que leur a donné M. Tschermak :

$$Ab = Na^2\ Al^2\ Si^6\ O^{16}$$
$$An = Ca^2\ Al^4\ Si^4\ O^{16}$$

position du plan des axes optiques et celle de l'autre axe; les autres données observées servent alors de vérification. Telles sont les extinctions sur les faces g^1(010) et p(001), telles aussi les épures de M. de Fédoroff.

On verra, par les détails qui suivent, qu'il y a une coïncidence en somme assez satisfaisante entre ces divers éléments d'information et que la position et la variation des axes d'élasticité et des axes optiques des principaux plagioclases est désormais très approximativement connue, surtout si l'on se borne à demander aux épures les moyens de déterminer les plagioclases et de les orienter.

La planche VIII coordonne les résultats acquis : les courbes en noir résultent des épures I à VII; celles de M. de Fédoroff donneraient les courbes teintées en bistre. Nous rappelons que les croquis fig. 84 et 85 des ***Minéraux des Roches*** nous ont amenés dès 1888 à des résultats synthétiques très voisins de ceux que nous donnons ici.

ALBITE (Pl. I) A*b*. — Les données choisies sont celles de l'albite de Modane.

n_g *fait avec la normale à*	p (001)	g^1 (010)	m (110).
Épure.	78°	16° 1/2	129°
Moyenne (Des Cloizeaux, *Ann. Ch. Ph.*). . .	78°35′	15°	125°20′
n_p *fait avec la normale à*	p (001)	g^1 (010)	
Épure	71°	89°.	

L'angle vrai des axes est de 78° (épure), 75° (Modane, Fouqué). Bissectrice aiguë positive n_g.

Vérifications. — D'après M. Des Cloizeaux, le plan des axes n_g n_p coupe g^1 (010) suivant une trace qui fait 96°28′ avec h^1g^1 (100) (010) et 20° avec pg^1 (001) (010). L'épure donne 97° et 20°.

D'après Max Schuster, l'albite s'éteint sur p (001) à + 5° et sur g^1 (010) à + 20° de l'arête pg^1 (001) (010). L'épure donne + 5° et + 20°.

D'après M. Fouqué, l'albite de Modane donne perpendiculairement à n_p une extinction de 74° rapportée aux traces du plan des axes optiques et de g^1(010), et perpendiculairement à n_g une

extinction de 19° rapportée aux traces du plan des axes optiques et de p (001) ; g^1 (010) est très oblique dans ce dernier cas. L'épure donne 75° et 18°.

Les données de M. de Fédoroff sont très analogues.

OLIGOCLASE ANOMAL DE 2e CLASSE (Des Cloizeaux), *aux confins de l'oligoclase normal* (Pl. II). — Les exemples choisis dans le mémoire de M. Des Cloizeaux, oscillent autour du rapport 1 : 3 : 9,33, correspondant sensiblement à $Ab_4\,An_1$.

Le plan des axes n_g n_p est perpendiculaire à g^1 (010); l'angle vrai des axes est voisin de 90°.

n_g *fait avec une normale à*	p (001)	g^1 (010).
Épure	94°	1°
n_p *fait avec une normale à*	p (001)	g^1 (010)
Épure	96°	89°.

Les extinctions sur p (001) et sur g^1 (010), un peu plus faibles que celles de la courbe théorique de Max Schuster, ne peuvent lui être comparées pratiquement, à cause des trop grandes variations constatées par cet auteur dans les oligoclases de Tvedestrand et d'Arendal, notamment pour la section g^1 (010), dans laquelle il cite des oscillations de + 2 à 5° et de + 4 à 7°. L'épure donne sur p (001) + 1° et sur g^1 (010) + 6°.

Perpendiculairement à n_p, l'extinction (comme ci-dessus pour l'albite) est de 90°. Perpendiculairement à n_g et rapportée au clivage p (001), l'extinction est de 1°.

OLIGOCLASE NORMAL DE 3e CLASSE (Des Cloizeaux), *aux confins de la 4me classe* (Pl. III). — Les exemples fournis par M. Des Cloizeaux oscillent autour du rapport 1 : 3 : 8,8 correspondant à $Ab_3\,An_1$. On a choisi celui pour lequel n_p est compris dans g^1 (010) et se confond presque avec l'arête pg^1 (001) (010).

n_g *fait avec la normale à*	p (001)	à g^1 (010)
Épure	80°	6°
Moyenne (Des Cloizeaux, *Soc. Min. fr.*)	79°	»
n_p *fait avec la normale à*	p (001)	à g^1 (010)
Épure	91°	90°
Backersville (Fouqué)	94°30′	»

L'angle des axes est de 88° (Backersville, Fouqué), de 83° (épure). Il doit être entendu que l'oligoclase de Backersville est, comme composition et comme propriétés optiques, intermédiaire entre les types de la Pl. II et de la Pl. III.

Vérifications. — Le plan des axes $n_g\, n_p$ fait avec g^1 (010) d'après M. Des Cloizeaux un angle de 80 à 85°, d'après l'épure 86°.

D'après Max Schuster, les extinctions sur p (001) et sur g^1 (010) sont à 0° de l'arête pg^1 (001) (010). L'épure donne + 1/4° et + 1°.

Perpendiculairement à n_p, le plan des axes et la trace g^1 (010) font 87° (Backersville, Fouqué), 84° (épure). Perpendiculairement à n_g, le plan des axes et la trace p (001) font 2° (Backersville, Fouqué), 1° (épure).

ANDÉSINE $Ab_2\, An_2$ à $Ab_3\, An_2$ (Pl. IV). — Cette andésine, correspondant au rapport 1 : 3 : 7, 4 à 1 : 3 : 7, 7, a été interpolée sensiblement à mi-distance entre l'oligoclase $Ab_3\, An_1$ et le labrador $Ab_1\, An_1$ (Voir Pl VIII).

Angle *fait avec la normale à*	p (001)	g^1 (010)
n_g (épure)	69°	17°
n_p (épure)	83°	86° 1/2.

L'angle 2 V des axes optiques est de 90°.

Extinctions sur p (001) et sur g^1 (010), — 7° 1/2 et — 2°. C'est très sensiblement le résultat fourni par Max Schuster pour l'andésine de Saint-Raphaël : — 8°6′ et — 1° à — 3°6′. Il convient d'ajouter que l'andésine de Saint-Raphaël, parfois très zonée, ne présente pas une composition chimique constante. Elle est en moyenne un peu plus basique que l'exemple choisi et se rapporte à la formule $Ab_3\, An_2$; sa bissectrice aiguë est positive, d'après M. Fouqué.

Perpendiculairement à n_g, le plan des axes fait 13° avec p (001). Perpendiculairement à n_p, il fait 76° avec g^1 (010).

La face $a^1/_2$ (201) est presque perpendiculaire à n_p.

LABRADOR PROPREMENT DIT (Pl. V) $Ab_1\, An_1$. — Les analyses des labradors comparés donnent des rapports d'oxygène oscillant entre 1 : 3 : 6,5 et 1 : 3 : 6,66.

n_g *fait avec la normale à*	p (001),	à g^1 (010),	à t ($\bar{1}$10).
Épure.	58°	27°	52°
Lave de 1720, Pico (Fouqué).	54°	»	»
Moyenne. (Des Cloizeaux, *Ann. Ch. Ph.*).	56°	31°	51°

n_p *fait avec la normale à*	p (001),	à g^1 (010)
Épure.	74°	82°
Lave de 1720, Pico (Fouqué)	74°	79°

L'angle vrai des axes est de 75° (épure), 77° (Pico, Fouqué). Bissectrice aiguë positive n_g.

Vérifications. — D'après M. Des Cloizeaux, le plan des axes optiques $n_g\, n_p$ coupe g^1 (010) à 27°, 30′ de pg^1 (001) (010) et à 37° de h^1g^1 (100) (010). L'épure donne 23° et 41°,30′.

D'après Max Schuster, le labrador d'Ojamo s'éteint dans p (001) à — 5° et dans g^1 (010) à — 16° de pg^1 (001) (010). L'épure donne — 5° et — 14°.

D'après M. Fouqué, le labrador de Pico (Açores) donne perpendiculairement à n_p une extinction de 60° et perpendiculairement à n_g, 20°, rapportés aux traces du plan des axes optiques et de g^1 (010). L'épure donne 65° et 20°.

Les données de M. de Fédoroff (n° 4 en bistre, planche VIII) coïncident sensiblement avec celles de l'épure (n° 3 en noir).

LABRADOR BASIQUE (Pl. VI). Ab_2 An_1. — Les analyses des labradors comparés donnent des rapports d'oxygène voisins de 1 : 3 : 6.

n_g *fait avec la normale à*	p (001),	à g^1 (010).
Épure	30°	37°
Lave de S. Jorge, Fayal (Fouqué)	49°,30	»

n_p *fait avec la normale à*	p (001),	à g^1 (010)
Épure	67°	71°
Lave de S. Jorge, Fayal (Fouqué)	66°	71°.

L'angle vrai des axes est de 78° (épure et Fayal). — Bissectrice aiguë positive n_g.

Vérification. — D'après Max Schuster, le labrador de Kamenoï

Brod s'éteint dans p (001) à — 7° et dans g^1 (010) à — 21° de l'arête pg^1 (001) (010). L'épure donne — 9° et — 17°.

D'après M. Fouqué, le labrador de Fayal (Açores) donne perpendiculairement à n_p une extinction de 58°, et perpendiculairement à n_g, 32°, rapportés aux traces du plan des axes optiques et de g^1 (010). L'épure donne 58° et 32°. Elle est donc entièrement conforme aux données de M. Fouqué qui comportent une vérification ; car la position de n_p et l'angle d'extinction perpendiculairement à cet axe d'élasticité déterminent le plan $n_g\, n_p$.

Les données de M. de Fédoroff différeraient de près de 10°.

ANORTHITE (Pl. VII). — Les données mises en œuvre sont voisines de celles fournies par l'anorthite de la Somma, qui contient encore un peu d'alcalis et correspondrait environ à $Ab_{11}\, An_{200}$.

n_g *fait avec la normale à*	p (001),	à g^1 (010)	
Épure	40°	47°	
Somma (Fouqué)	36°7′	50° (?)	
n_p *fait avec la normale à*	p (001),	à g^1 (010),	à m (110).
Épure	55°	58°	88°
Somma (Fouqué)	55°36′	57°15′	»
Moyenne (Des Cloizeaux).	55°7′	52°45′	83°10′.

L'angle vrai des axes optiques est de 82° (épure), 78° (Somma, Fouqué). Bissectrice aiguë négative n_p.

Vérification. — La trace du plan $n_g\, n_m$ ferait, d'après M. Des Cloizeaux, 39° 8′ (?) avec pg^1 (001) (010) et 76° 40′ avec h^1g^1 (100) (010). L'épure donne 49° et 75°.

D'après Max Schuster, l'anorthite de la Somma s'éteint sur p (001) à — 33° et sur g^1 (010) de — 37 à — 43° de l'arête pg (001) (010). L'épure donne — 31° et — 37°.

D'après M. Fouqué, l'anorthite de la Somma donne perpendiculairement à n_p une extinction de 55° et perpendiculairement à n_g 48°, rapportés aux traces du plan des axes optiques et de g^1 (010). L'épure donne 55° et 49°.

Les données de M. de Fédoroff diffèrent d'environ 5°.

APPLICATIONS PRATIQUES

Comme on l'a vu dans le résumé des travaux relatifs à l'étude des feldspaths en plaque mince, si on laisse de côté la recherche des indices de réfraction qui n'a, jusqu'à présent, donné des résultats certains que dans des cas assez particuliers, le diagnostic s'appuie sur la recherche de sections déterminées telles que g^1 (010) ou les perpendiculaires aux axes d'élasticité et aux axes optiques; ou encore il recourt aux sections en zones caractéristiques et facilement reconnaissables. C'est par ces dernières que nous commencerons, leurs applications nous paraissant comporter une généralité plus grande et une pratique plus facile que toutes les autres méthodes.

I. — SECTIONS EN ZONES

A. — ZONE PERPENDICULAIRE A g^1 (010)

La zone, de beaucoup la plus utile, est celle dont les sections sont perpendiculaires à g^1 (010), c'est-à-dire au plan d'aplatissement des microlites feldspathiques.

On la reconnaît facilement à plusieurs caractères précis que nous allons d'abord énumérer: 1° c'est la zone de symétrie de la macle de l'albite. Les lamelles (1) et (1') s'y éteignent donc symétriquement de part et d'autre de la ligne de macle et, si l'on tient compte du signe optique de la direction d'extinction, cette condition nécessaire est aussi suffisante.

2° Les sections de cette zone sont perpendiculaires à g^1 (010) qui

est, en même temps, la face d'association des macles de l'albite et de Carlsbad et un plan d'aplatissement favori des plagioclases. De ces propriétés découlent deux conséquences importantes : la ligne de jonction des macles de l'albite doit être extrêmement fine et rectiligne sans parties floues. En outre, les microlites feldspathiques, si petits qu'ils soient, traversent alors normalement la plaque mince; ils semblent allongés suivant cette trace; leurs contours sont nets, leur biréfringence est celle que comporte l'épaisseur totale de la plaque mince, pour l'orientation optique considérée dans chaque cas.

3° Les méthodes d'*éclairement commun* (positions d'égale intensité lumineuse) que j'ai décrites[1], donnent un moyen délicat et tout à fait pratique de déterminer si l'on a affaire à une section appartenant à la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) : dans ce cas, les huit positions d'égale intensité lumineuse des individus (1) et (1′) maclés suivant la loi de l'albite, se distribuent de la façon suivante : quatre d'entre elles, comportant l'égal éclairement de (1), de (1′) et de leurs recouvrements, sont à 45° de part et d'autre de la ligne de macle; les quatre autres, comportant l'égal éclairement de (1) et de (1′) seulement et la compensation des parties de recouvrement, se produisent quand un des plans principaux des Nicols croisés et par conséquent un des fils du réticule coïncident avec la ligne de macle. Dès lors le procédé consiste à placer la section dans une de ces quatre positions; si elle appartient à la zone de symétrie en question, l'éclairement commun des deux séries de lamelles (1) et (1′) se produit; elles paraissent appartenir à un même cristal et ne sont séparées les unes des autres que par de très fines petites lignes noires. La méthode est extrêmement délicate et, à la moindre obliquité, l'éclairement commun ne se produit plus.

Si le microscope est muni d'une platine mobile autour d'un axe horizontal, telle que les dispositifs récemment préconisés par M. de Fédoroff, on peut amener la trace g^1 (010) à coïncider avec cet axe, puis par une rotation convenable, on établit l'éclairement commun. Pour arriver commodément à ce résultat, il est néces-

[1] Voir *Minéraux des Roches*, chap. IV, p. 73, et 81, cas des ellipses E′ identiques.

saire que l'axe de rotation horizontal soit parallèle à un des fils du réticule. Au moment précis où l'éclairement commun se produit, le pinceau de rayons parallèles qui sort suivant l'axe du microscope a traversé la plaque mince parallèlement à g^1 (010). Il est facile de calculer la déviation qu'il a subie dans l'air et par conséquent de déduire de la rotation effectuée l'inclinaison réelle de la face primitive sur g^1 (010).

4° Ainsi, en choisissant les sections à étudier, ou même en modifiant légèrement leur orientation au moyen d'une platine convenablement agencée, on peut étudier de nombreuses sections de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010); parmi les microlites de petite taille, ce sont elles qui sautent aux yeux. Il est même possible d'explorer leur voisinage, soit en considérant les sections légèrement dissymétriques, soit en utilisant une platine spéciale.

Les épures jointes à ce mémoire permettent de lire d'un seul coup d'œil la nature et le sens des modifications que comportent une série de sections dont les pôles seraient situés à 80° ou 70° des pôles g^1 (010) ; il suffit de suivre les extinctions inscrites le long des parallèles immédiatement voisins de la trace de g^1 (010) (diamètre vertical).

5° Le tracé relativement rigoureux des courbes des extinctions dans la zone de symétrie en question a été reproduit figure 2. Il fixe de la façon suivante les maxima afférents aux principaux feldspaths :

Albite Ab	— 16°
Oligoclase $Ab_4\ An_1$	+ 1°
Oligoclase $Ab_3\ An_1$	+ 5°
Andésine $Ab_5\ An_3$	+ 16°
Labrador $Ab_1\ An_1$	+ 27°
Labrador basique $Ab_3\ An_4$	+ 38°
Anorthite $Ab_{11}\ An_{200}$	+ 53°

Ces maxima, à eux seuls, suffisent, comme on le voit, à caractériser les oligoclases (0 à 5°), les andésines basiques (plus de 16°, moins de 22°), les labradors (de 22 à 35°), les bytownites (de 35 à 45°), enfin les anorthites (au-dessus de 45°). On verra plus loin, au paragraphe consacré à la fréquence de certaines extinctions,

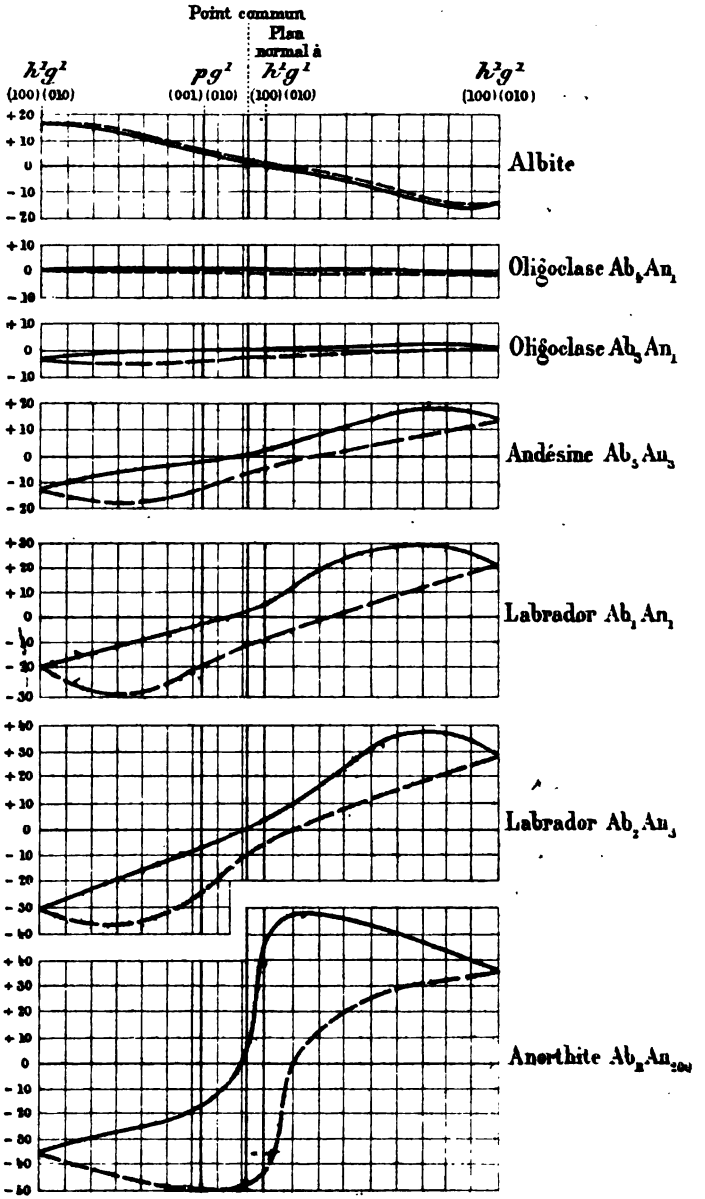


Fig. 2. — Courbes des extinctions dans la zone perpendiculaire à g^1 (010). Les traits pleins se rapportent aux lamelles (1), les points longs aux lamelles (2') maclées suivant la loi de Carlsbad et ensuite de l'albite.

que la recherche de ces maxima est loin d'être pénible et n'exige ni de longues recherches, ni des lectures nombreuses ; ils se présentent pour ainsi dire d'eux-mêmes à l'observateur et, pour les microlites, il n'y a pas lieu de rechercher s'il en existe côte à côte de natures très différentes : dans l'immense majorité des cas, les microlites se sont formés rapidement et présentent une grande prédominance d'une seule espèce de plagioclase.

Il n'y a indécision qu'entre les albites et certaines andésines acides. Tous nos efforts doivent donc tendre à lever cette indécision qui, seule, ôte à la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) la propriété d'être constamment et facilement caractéristique.

6° Or on peut, dans bien des cas, arriver à différencier les albites des andésines acides par une méthode très simple et suffisamment rigoureuse, qui s'applique précisément à la plupart des microlites auxquels nous avons vu que les autres procédés sont généralement inapplicables.

La considération des pôles, conjugués symétriquement par rapport à la trace g^1 (010) et au centre de la figure, nous a permis de déterminer d'emblée les extinctions des lamelles hémitropes suivant les lois de l'albite et de Carlsbad (1) (1') et (2) (2'). (Voir fig. 1, p. 21.) Le plus souvent, on trouve les microlites de plagioclases maclés en deux parties égales suivant la loi de Carlsbad ; une des moitiés (1) présente plusieurs fines lamelles (1') ; l'autre (2) en contient moins et peut même n'en pas présenter.

Pour distinguer la macle de l'albite de celle de Carlsbad, c'est encore aux positions d'égale intensité lumineuse qu'il est commode de recourir ; non plus à celles pour lesquelles le fil du réticule coïncide avec la trace g^1 (010), mais bien aux positions qui mettent cette trace à 45° et pour lesquelles l'éclairement commun des lamelles, maclées suivant la loi de l'albite, se manifeste même au droit des superpositions. Alors le microlite de plagioclase paraît monoclinique : dans chacune des deux parties, maclées suivant la loi de Carlsbad, les lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite s'effacent, et il semble qu'on ait seulement deux individus accolés comme dans certains orthoses. La moindre rotation fait renaître les lamelles hémitropes et permet de les attribuer, si fines soient-elles, à l'une ou à l'autre des parties principales.

D'où la possbilité immédiate de vérifier si la section appartient à la zone de symétrie recherchée, ou de l'y amener (voir § 5), de déterminer le double de l'angle d'extinction d'une des parties (1) et (1′) et de vérifier où se fait l'extinction de l'autre (2′).

Si cette extinction [1] se fait seulement de 0 à 2° de celle de (1) et si cette dernière a été choisie parmi les sections déjà assez voisines du maximum absolu, on peut affirmer que le plagioclase étudié appartient aux albites ou aux oligoclases acides.

Dès qu'on aborde les oligoclases basiques, cette différence Δ augmente et dépasse 3° ; elle atteint 10° pour l'andésine $Ab_3\,An_3$

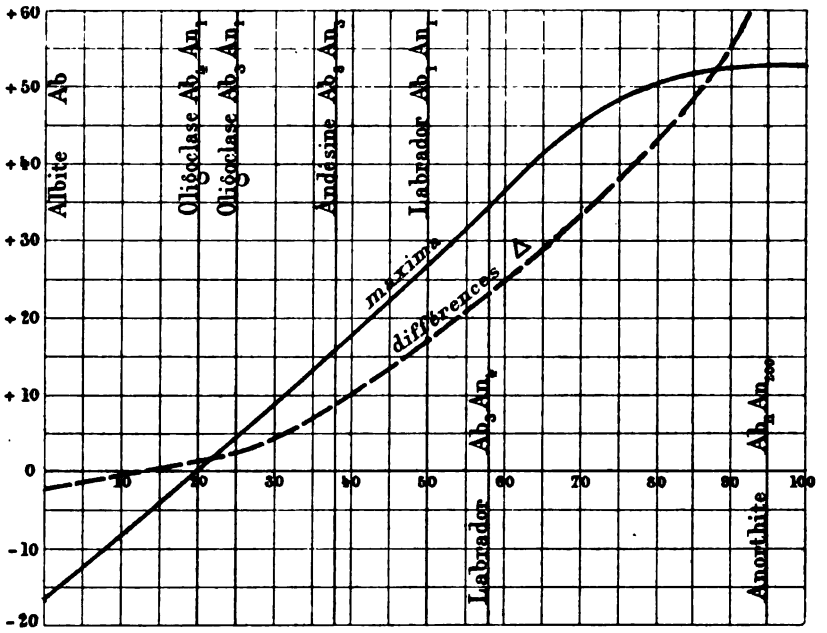


Fig. 3.

Maxima et différences dans la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010).

(1 : 3 : 7,7), dont le maximum absolu (16°) équivaut exactement à celui de l'albite. On peut voir, sur les épures générales, et sur les courbes du diagramme (fig. 2), que les maxima atteints par

[1] Les extinctions doivent toujours être rapportées aux direct négatives) des diverses sections.

les différences Δ sont toujours voisins des maxima absolus de la zone de symétrie. Ils s'exagèrent entre les labradors et les anorthites et passent de 23° à 94° dans un espace restreint. Les courbes du diagramme (fig. 3) achèvent donc de donner à la zone de symétrie normale à g^1 (010) une valeur tout à fait caractéristique.

Il convient de remarquer que la symétrie presque absolue (au point de vue optique) de l'albite par rapport au plan perpendiculaire à g^1 (010) et passant par h^1g^1 (100) (010), ferait pour ainsi dire disparaître la macle de Carlsbad, en plaques minces, si la distribution inégale des lamelles suivant la loi de l'albite ne rendait évident le partage des sections en deux parties distinctes : l'éclairement commun, à 45°, est presque le même, et il n'y a en tout que deux extinctions. Dans l'andésine, la différence des éclairements communs est déjà frappante.

7° Les épures générales permettent de traiter le problème d'une façon encore plus approfondie et de déterminer tout à la fois sur une seule section, simplement voisine de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010), non seulement la nature du feldspath, mais son orientation.

Pour plus de simplicité dans la description du procédé, nous supposerons d'abord que l'on s'est à peu près rendu compte de la nature du feldspath à l'étude, et que l'on dispose d'une platine Fédoroff. Par une rotation convenable, on amène la section dans la zone de symétrie et on lit les extinctions suivantes :

$$(1) = + b \qquad (1') = - b \qquad (2) = + e \qquad (2') = - e$$

La zone de symétrie de chaque feldspath passe au plus deux fois par la valeur b; à chacune de ces valeurs b correspondent des valeurs e différentes; la lecture de e suffit donc en général pour déterminer la place approximative occupée par le pôle (1), c'est-à-dire la position, dans le cristal (1), de l'angle ph^1 (001) (100) obtus.

Pour arriver à une détermination analogue, quant à l'angle pg^1 (001) (010), nous tournerons l'axe horizontal de la platine de 16 à 17° dans l'air, équivalents à un angle vrai d'environ 10°, et nous amènerons ainsi par exemple le pôle (1) à coïncider avec le

parallèle à g^1 (010) situé à 80° du pôle g^1 de gauche. Les extinctions se sont transformées et sont devenues dissymétriques ; nous lisons

$$(1) = a \qquad (1') = -c \qquad (2) = f \qquad (2') = -d$$

Si, dès lors, nous avions à poser, sur une épure, les six nombres *a b c d e f*, nous les disposerions de la façon suivante : *b* et *e* sur le diamètre vertical de l'épure, à égale distance du centre ; *a* et *d* sur un parallèle à g^1 (010), à gauche du diamètre vertical ; *c* et *f*

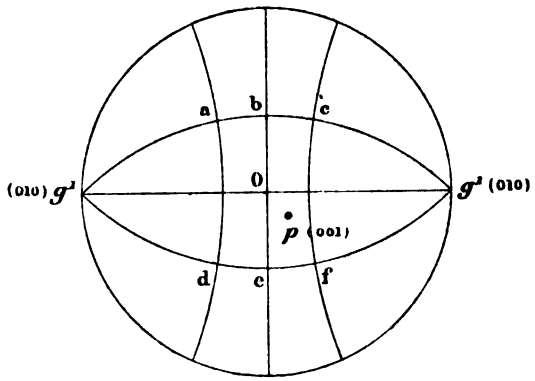


Fig. 4.

sur le parallèle symétrique à droite. D'ailleurs *a b c* seraient sur un méridien passant par les pôles de g^1 (010), et *d e f* seraient sur le méridien symétrique par rapport au diamètre horizontal. Quant aux nombres à inscrire (fig. 4), nous nous sommes arrangés pour les prendre avec le signe +, en changeant de signe les extinctions (1') et (2').

C'est donc avec les séries de nombres

$$\begin{matrix} a\ b\ c \\ d\ e\ f \end{matrix}$$

qu'il nous faut comparer les données des épures générales. Mais auparavant, nous remarquerons que ces épures ont été tracées en plaçant le pôle *p* (001) dans le quadrant inférieur à droite : nous avons déjà vu que la comparaison des nombres *b* et *e* suffit en général pour nous permettre de n'hésiter (fig. 4) qu'entre les deux quadrants inférieurs. Néanmoins conservons au cas

présent toute sa généralité : si p (001) est dans le quadrant inférieur de droite, c'est en effet avec

$$\begin{matrix} a\ b\ c \\ d\ e\ f \end{matrix}$$

qu'il faut comparer les épures générales. S'il est dans un quelconque des autres quadrants, il faut, par des rotations et des changements de signe convenables, amener la figure 4 à le contenir dans le quadrant inférieur de droite; on est ainsi conduit à dresser le tableau suivant :

Quadrant inférieur de droite	$\begin{matrix} a\ b\ c \\ d\ e\ f \end{matrix}$
— — de gauche.	$\begin{matrix} -(c\ b\ a) \\ -(f\ e\ d) \end{matrix}$
— supérieur de gauche	$\begin{matrix} f\ e\ d \\ c\ b\ a \end{matrix}$
— — de droite.	$\begin{matrix} -(d\ e\ f) \\ -(a\ b\ c) \end{matrix}$

Non seulement, en général, les six nombres lus sont caractéristiques, mais l'ordre de leur lecture et leur signe permettent d'orienter définitivement le cristal (1) et de spécifier dans quel quadrant se trouve le pôle p (001).

Il y a cependant deux cas où, par la nature même des choses, la méthode précédente est partiellement en défaut : c'est quand le feldspath considéré est presque optiquement symétrique par rapport au plan perpendiculaire à g^1 (010) et passant par h^1g^1(100) (010); tel le cas de l'albite; ou par rapport au plan g^1 (010); tel est celui d'un des oligoclases acides.

Dans le cas de l'albite, on trouve facilement le côté où l'angle pg^1 (001)(010) est obtus; c'est à la fois celui vers lequel tous les pôles des sections ont leur biréfringence croissante, ainsi que la valeur absolue de leur angle d'extinction; mais il est presque impossible de savoir où est l'angle ph^1 (001) (100) obtus.

Dans le cas de l'oligiocase et pour des raisons analogues, la recherche du côté ph^1 (001) (100) obtus est possible; celle de l'angle obtus pg^1 (001) (010) ne peut aboutir avec certitude.

8° La comparaison attentive des groupements possibles

$$\begin{matrix} \pm\ (a\ b\ c,\ d\ e\ f) \\ \pm\ (c\ b\ a,\ f\ e\ d) \end{matrix}$$

avec les nombres des tableaux suivants, empruntés aux épures générales, montre que le problème posé est en somme résolu avec

b ou e = 5°

	a b c ou d e f	CROIT en valeur absolue / DÉCROIT en valeur absolue \	d e f ou a b c		OBSERVATIONS
Albite, en haut . .	− 3 − 5 − 7	/	+ 4 + 6 + 7 ½	/	Il y a indécision sur la position de *ph'* (001) (100) obtus.
— en bas. . .	+ 3 ½ + 5 + 6 ½	/	− 4 ½ − 6 − 8	/	
Oligoclase, en haut.	+ 4 + 5 + 5	/	− 6 − 1 ½ (°) + 2	V	Maximum.
Andésine, en haut.	+ 10 + 5 + 2	\	+ ½ (°) − 1 − 2	V	
— en bas .	− 7 − 5 − 4	\	+ 14 + 15 + 17	/	
Labrador, au centre	+ 7 ½ + 5 + 2	\	+ 7 ½ + 5 + 2	\	
— en bas. .	− 3 ½ − 5 − 6 ½	/	+ 21 + 20 + 23	V	
Anorthite, en haut.	+ 11 + 5' − 75	V	+ 38 + 52 + 70	/	' Voisinage de l'axe optique B.
— en bas	+ 8' − 5 − 70	V	+ 40 + 53 + 68	/	
b ou e = 10°					
Albite, en haut . .	− 8 − 10 − 12	/	+ 6 ½ + 8 ½ + 10 ½	/	
— en bas. . .	+ 8 + 10 + 12	/	− 9 − 11 − 12	/	
Andésine, en haut.	+ 13 + 10 + 7	\	− 3 − 3 − 3	=	
— en bas .	− 13 − 10 − 6	\	+ 12 + 15 + 18	/	
Labrador, en haut.	+ 12 + 10 + 7	\	+ 4 + 2 (°) − 1	V	' Voisinage de l'axe d'élasticité n_p.
— en bas .	− 10 − 10 − 10	=	+ 26' + 27 + 29	/	
Anorthite, en haut.	+ 11 + 10' − 80	V	+ 35 + 50 + 75	/	' Voisinage de l'axe optique B.
— en bas .	+ 8 (°) − 10 − 65	V	+ 40 + 53 + 65	/	

b ou e = 16°

	a b c ou d e f	CROIT en valeur absolue / DÉCROIT en valeur absolue \	d e f ou a b c		OBSERVATIONS
Albite, en haut. .	+16 ½ +16 +17	V	−14 ½ −15 −16 ½	/	MAXIMUM. ' Voisinage de n_p.
Andésine, en haut.	+14 ½ +16 +18	/	− 8 ½ − 6 ½ − 4 ½	\	MAXIMUM. ' Voisinage de n_p.
Labrador, en haut.	+17 +16 +15	\	+ 1(°) − 2 − 5	V	
— en bas .	−17 −16 −14	\	+23 +24 +27	/	
Anorthite.	+15 +16(90°)' −78	^	+38 +51 . +68	/	' Voisinage de l'axe optique B.
	0 −16 −54	/	+42 +52 +65	/	
b ou e = 20					
Labrador, en haut.	+21 +20 +20	=	− 2 − 4 − 6	/	
— en bas .	−22 −20 −18	\	+19 +21 +23	/	
Anorthite, en haut.	+16 +20'(90°) −85	^	+36 +51 +71	/	' Voisinage de l'axe optique B.
— en bas .	− 5 −20 −45	/	+43 +53 +63	/	
b ou e = 26					
Labrador, en haut.	+26' +26 +28	=	−12 −12 −11	=	MAXIMUM. ' Voisinage de l'axe d'élasticité n_p.
Anorthite, en haut.	+18 +26(90°) −86	^	+43 +51 +72	/	
— en bas.	−20 −26 −36	/	+45 +51 +57	/	

toute sa généralité : étant donnée une section quelconque, voisine de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) et présentant les macles de l'albite et de Carlsbad, on peut en général détermi-

ner le feldspath auquel on a affaire et l'orientation des diverses lamelles.

9° Si l'on ne dispose pas d'une platine à axe horizontal de rotation, il est néanmoins possible d'utiliser les données précédentes ; car elles représentent pour ainsi dire la différentielle des variations que subissent, au voisinage de la zone de symétrie, les extinctions des diverses lamelles hémitropes.

Sauf pour la partie centrale de la zone dans l'anorthite, qui se reconnaît, en général, par le voisinage immédiat de l'axe optique B ou par des variations dépassant 90°, on peut remplacer approximativement b par $\frac{a+c}{2}$ et e par $\frac{d+f}{2}$. Dès lors, il suffit de choisir une section qui soit simplement voisine de la zone de symétrie, ce que l'on reconnaît par les petites différences entre a et c, d et f et aussi par le peu d'épaisseur des parties de recouvrement, dans les positions d'égale intensité lumineuse pour lesquelles la trace g^1 (010) s'écarte peu des fils du réticule.

Il suffit donc de la coexistence des macles de l'albite et de Carbslad pour permettre la détermination d'une section transversale quelconque des microlites de plagioclase, et l'on obtient en outre une notion très approximative de l'orientation de cette section.

B. — ZONE PASSANT PAR LA NORMALE A h^1 g^1 (100) (010), SITUÉE DANS g^1 (010)

Nous avons déjà remarqué (p. 21) que les pôles de cette section sont répartis sur le diamètre horizontal de l'épure. Elle comprend g^1 (010) et la section droite du prisme ; les lamelles (1) s'éteignent symétriquement avec les lamelles (2') et les lamelles (1') avec les lamelles (2).

Au moyen des procédés de l'éclairement commun, on peut mettre assez facilement à jour cette propriété, tout au moins pour les sections de la zone qui ne sont pas trop voisines de g^1 (010).

Quoi qu'il en soit et en se bornant à l'étude des sections qui ne font pas plus de 50° au maximum avec la section droite du prisme,

cette zone est très caractéristique pour les feldspaths acides ; elle permet non seulement de distinguer l'albite de l'andésine, mais de séparer les oligoclases.

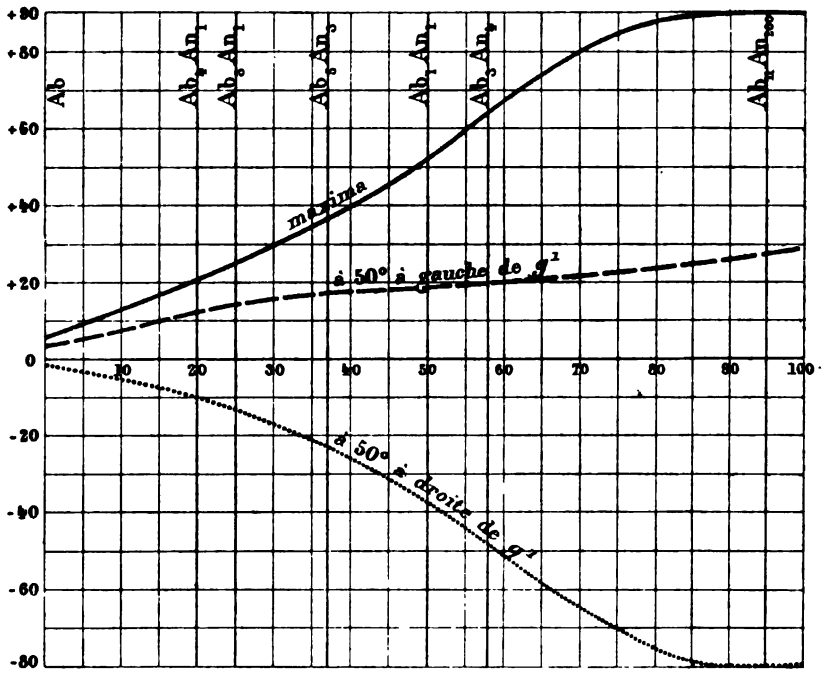


Fig. 5.

Zone passant par la normale à $h^1 g^1$ (100) (010), située dans g^1 (010).

Le diagramme (fig. 5) rend compte de ces diverses propriétés ; elles se résument ainsi : le maximum absolu de la zone est toujours au voisinage de g^1 (010) et elle croît régulièrement à partir d'un point voisin de $h^1 g^1$ (100) (010).

	Maximum absolu.	Extinctions à 50° de $h^1 g^1$ (100) (010) à gauche	à droite.
Albite	6°	+ 4°	— 2° 1/2
Oligoclase, $Ab_4 An_1$	20°	+ 12°	— 10° 1/2
Oligoclase, $Ab_3 An_1$	25°	+ 13°	— 13°
Andésine, $Ab_2 An_3$.	34°	+ 17° 1/2	— 22° 1/2
Labrador, $Ab_1 An_1$.	52°	+ 19°	— 37°
Anorthite.	90°	+ 30°	— 79°.

On voit que tous ces accroissements sont continus de l'albite à l'anorthite et cette zone serait la plus caractéristique et la plus commode, s'il était facile d'en découvrir les sections.

C. — ZONE PARALLÈLE A h^1g^1 (100) (010)

Nous nous contenterons de mentionner cette zone de symétrie, dans laquelle les lamelles (1) et (2) s'éteignent symétriquement, ainsi que (1') et (2'). Ses données numériques sont pratiquement peu concluantes, notamment pour les plagioclases acides qui y présentent des variations d'extinction trop étendues. Les données numériques afférentes à cette zone sont naturellement réparties sur les cercles limitant extérieurement les épures.

D. — ZONE PARALLÈLE A pg^1 (001) (010)

Cette zone, parallèle aux deux clivages faciles des feldspaths, est d'une application courante dans les variolites et toutes les fois que les plagioclases arborisés montrent des formes naissantes, des cristallites de prise rapide. Ils sont alors, en effet, très allongés suivant pg^1 (001) (010) : ce n'est que d'une façon tout exceptionnelle que MM. Williams et Iddings ont rencontré des sphérolites d'orthose à fibres allongées suivant h^1g^1 (100) (010).

L'allongement normal de l'orthose fibreux, lui-même, se fait suivant pg^1 (001) (010), comme en témoignent de nombreux sphérolites des orthophyres et des microgranulites basiques ; quant aux sphérolites de plagioclases, je ne connais pas une exception à la règle posée plus haut.

Les nombres, afférents à la zone pg^1 (001) (010), s'échelonnent sur le méridien passant par les pôles p (001) et g^1 (010), à environ 26° au-dessous du plan perpendiculaire à g^1 (010) et passant par h^1g^1 (100) (010). On y constate les particularités suivantes :

Albite de 0° (entre p et pg^1 obtus).		
à un maximum de	20°	(près de g^1).
Oligoclase. Ab_4An_1 de 0° à	1/2°	(entre p et pg^1 aigu).
Oligoclase. Ab_3An_1 de 0° à	0°	
Andésine de 0° (près de p, entre p et pg^1 obtus) à.	7°	(dans g^1).
Labrador de 0° (entre p et pg^1 obtus) à.	18°	(près de g^1 entre p et pg^1 aigu).
Labrador basique de 0° (entre p et pg^1 obtus) à .	32°	(près de g^1 entre p et pg^1 aigu).
Anorthite de 0° (entre p et pg^1 obtus) à	55°	(près de g^1 entre p et pg^1 aigu).

On voit qu'ici la confusion peut s'établir entre les albites d'une part, et les andésines les plus basiques jusqu'aux labradors d'autre part. C'est aux oligoclases et aux andésines acides que s'appliquent les petites extinctions ; à partir du labrador proprement dit, l'angle maximum d'extinction dépasse rapidement ceux qui peuvent convenir aux albites. Il est remarquable que la zone pg^1 (001) (010) contienne toujours un plan voisin d'être perpendiculaire à la bissectrice positive n_g.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL RELATIF AUX ZONES DE SYMÉTRIE

En résumé, l'emploi de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) est, pour les plagioclases en lame mince, le moyen de diagnostic le plus assuré et le plus général. Quand la macle de l'albite se montre, il conduit à lui seul à des résultats caractéristiques par la voie la plus courte et par des méthodes d'application rapide et facile. La tâche est facilitée et la distinction entre l'albite et certaines andésines est assurée, quand on a quelques exemples combinés des macles de l'albite et de Carlsbad, ce qui est un cas très fréquent. La méthode des positions d'égale intensité lumineuse (éclairement commun) constitue un moyen commode pour la recherche de ces diverses macles, et pour celle des sections convenablement orientées. L'emploi, d'ailleurs utile, de la platine universelle préconisée par M. de Fédoroff, n'est pas nécessaire, même pour l'utilisation des sections qui, voisines de la zone de symétrie, ne coïncident pas entièrement avec elle.

Après cette zone d'usage universel et en outre à peu près exclusif pour les microlites de petite taille, il nous faut citer la *zone* pg^1 (001) (010) avec ses résultats, d'ailleurs comparables, pour toute la classe des variolites et des porphyrites ou andésines à plagioclases arborisés ou sphérolitiques.

Avant de passer aux méthodes consistant à rechercher *une* section spéciale d'orientation déterminée, nous ferons ressortir que le hasard seul ne préside pas à la répartition des extinctions d'un feldspath donné; en d'autres termes, nous croyons que les lois du plus grand nombre permettraient de déterminer la plupart des feldspaths, en multipliant suffisamment la lecture des extinctions rapportées aux traces g^1 (010).

En effet, la répartition des courbes d'extinction met en évidence que chaque feldspath possède, entre certaines limites, des nombres favoris d'extinction rapportée à la trace de g^1 (010). Il existe sur chaque épure des points singuliers (marqués d'une étoile rouge) de variation minima et se trouvant à la croisée de deux courbes d'égale extinction, tandis que tout autre point ne correspond qu'à une seule de ces courbes.

Dans l'anorthite par exemple, les points singuliers correspondent à des extinctions de 32° et de 41°. Les pôles compris entre 30 et 50° en valeur absolue, occupent, pour ce plagioclase, plus de la moitié de la sphère. Si l'on cherche la chance qu'on a de tomber sur une extinction supérieure à 30°, on trouve que, pour l'anorthite, cette chance est supérieure à 3 sur 4.

Voici le tableau des extinctions auxquelles correspondent les points singuliers des feldspaths étudiés :

	En haut.	En bas.	Moyenne.
Albite	1 /2	15°	7° 3/4.
Oligoclase. Ab_4An_1	1 /4	1 /4	1/4.
Oligoclase. Ab_3An_1	4°	1/2	2° 1/4.
Andésine	14°	4°	9°
Labrador	25°	9°	17°
Labrador basique	36°	21°	28° 1/2.
Anorthite	41°	32°	36° 1/2.

La surface de la sphère, occupée par les petites extinctions, varie à peu près en sens inverse des moyennes précédentes : si l'on

considère par exemple la surface occupée par les pôles des faces s'éteignant de + 5° à — 5°, c'est-à-dire de 0 à 5° en valeur absolue, on les voit occuper des lisérés insignifiants le long de la courbe 0°, dans les anorthites et dans les labradors. Dans l'andésine, cette surface s'accroît considérablement et se groupe autour de p (001) et de la zone pg^1 (001) (010). Les oligoclases présentent un envahissement de près de moitié de la sphère ; il y a une chance sur deux de lire au hasard une extinction comprise entre 0 et 5° ; toute la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) en est largement bordée.

Quant à l'albite, la surface se resserre et ressemble à celle de l'andésine ; mais elle borde la zone de symétrie autour de la normale à h^1g^1 (100) (010) et c'est là une des caractéristiques utiles de l'albite, coïncidant d'ailleurs avec sa symétrie optique autour d'un plan passant par h^1g^1 (100) (010) et normal à g^1 (010).

De pareilles propriétés permettent de déterminer sans difficulté et, pour ainsi dire, au premier coup d'œil les oligoclases et les anorthites.

Les anorthites ne peuvent être confondus avec aucun autre feldspath. Quant aux oligoclases, il ne faut pas perdre de vue que leurs propriétés sont très voisines de celles des anorthoses ; il convient alors de recourir soit à la détermination des indices de réfraction, soit à celle de l'angle des axes optiques, beaucoup plus petit autour d'une bissectrice aiguë toujours négative, dans les anorthoses.

II. — RECHERCHE DE SECTIONS DÉTERMINÉES

A. — SECTIONS PARALLÈLES A g^1 (010)

Le remarquable travail de Max Schuster sur les plagioclases[1], si heureusement complété par l'application théorique due à M. Mallard[2], a mis en lumière le parti qu'on peut tirer des extinctions sur une face quelconque, à condition de pouvoir en distinguer le sens. A ce point de vue, la face g^1 (010) est la plus commode, parce qu'elle élimine la macle de l'albite et que, d'autre part, elle échelonne les extinctions entre des nombres assez espacés. Le diagramme ci-joint reproduit la courbe due à Max Schuster et y repère les feldspaths de nos épures.

Pour utiliser[3] les extinctions en plaque mince et lorsqu'on a affaire à des sections feldspathiques semées au hasard de la coupe, il faut : 1° savoir reconnaître les sections voisines de g^1 (010) et juger approximativement de l'erreur commise sur leur orientation ; 2° déterminer l'angle obtus ph^1 (001) (100).

1° *a*. Les sections g^1 (010) étant parallèles à la face d'association de la macle de l'albite, les lamelles hémitropes et leurs recouvrements doivent s'élargir et même disparaître à la limite, en même temps que leur extinction devient la même ; car l'ellipse des indices revient sur elle-même dans g^1 après une rotation de 180°.

[1] Max Schuster. *Ueber die optische Orientirung der Plagioklase.* — Tschermak. M. P. Mittheil. 1880, III, 117.

[2] Mallard. *Sur l'isomorphisme des feldspaths tricliniques* B. Soc. Min. fr. 1881, IV, 96.

[3] C. R. 10 nov. 1890. — *Bull. Soc. Géo.*, 1890. Réunion à Clermont-Ferrand. *Etude sur les roches des Puys et du Mont-Dore.*

Si dans une plaque de $0^{mm},02$ d'épaisseur (e), les recouvrements de deux lamelles voisines atteignent par exemple une largeur (l)

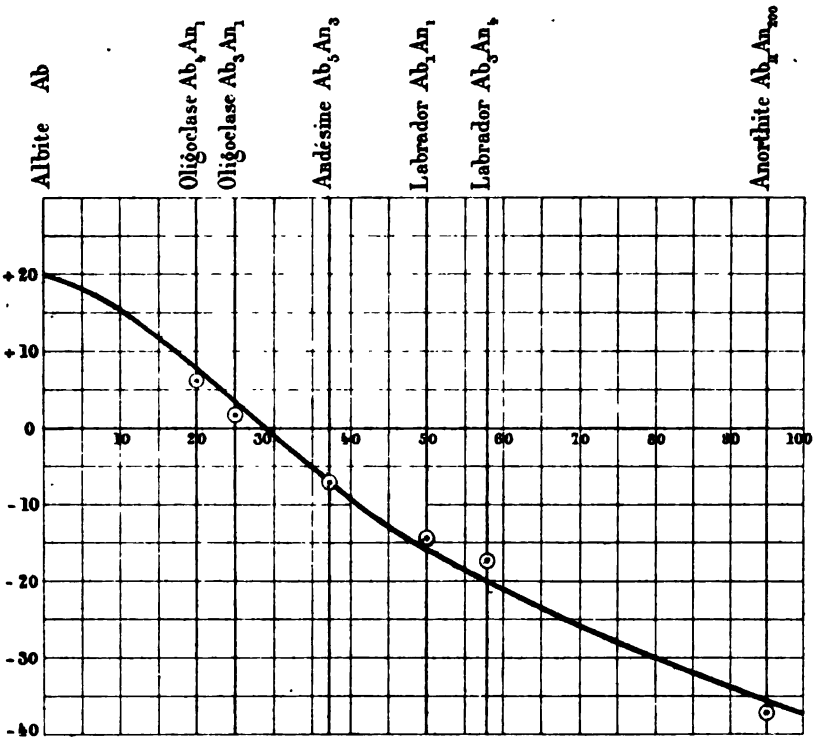


Fig. 6.

Extinctions sur g^1 (010), rapportées à l'arête pg^1 (001) (010) et positives dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

de $0^{mm},3$, on aura évidemment, en appelant α l'angle que fait g^1 avec la plaque mince :

$$\text{tg } \alpha = \frac{e}{l} = \frac{0,02}{0,3} = \frac{1}{15}$$

α est inférieur à 4°. Nous verrons plus loin l'erreur qui serait commise, de ce chef, sur les extinctions.

b. La macle de Carlsbad a aussi, comme face d'association, la face g^1 (010) ; elle devrait donc disparaître dans les sections parallèles à g^1 (010) ou plutôt ne plus agir que par superposition de deux individus optiquement différents ; car l'ellipse des indices

est alors retournée autour de h^1g^1 (100) (010) et celle de la macle vient prendre dans g^1 (010) une position symétrique par rapport à la direction h^1 (100). En réalité, dans la macle de Carlsbad, à l'inverse de celle de l'albite, la jonction n'est pas plane; il y a pénétration réciproque souvent très irrégulière et les sections, même rigoureusement parallèles à g^1 (010), montrent très souvent deux individus juxtaposés et en partie superposés, en un mot se pénétrant suivant une ligne plus ou moins sinueuse et irrégulière. Lorsque la trace des clivages faciles p (010) est bien visible, il est nécessaire qu'ils fassent entre eux un angle d'environ 128°; mais c'est là une condition qui n'est pas suffisante et qui n'acquiert une véritable valeur que si les extinctions de même signe des deux individus maclés se font symétriquement par rapport à la bissectrice de l'angle de 128°; il n'y a plus alors qu'une seule autre section de la zone h^1g^1 (100) (010) qui jouisse de la même propriété.

c. Souvent on peut distinguer, soit au moyen des zones d'accroissement, soit par des contours extérieurs nets, les faces qui limitent la section supposée parallèle à g^1 (010). Ces faces sont, par ordre de fréquence, p (010), $a^{1/2}$ (201), a^1 (101), m (110), t ($\bar{1}$10), $o^{1/2}$ (201), $a^{3/2}$ (203). Le profil de leurs angles constitue une assez bonne vérification (fig. 7 pour l'albite).

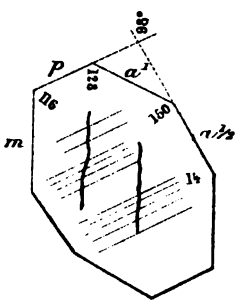


Fig. 7.

d. Assez souvent le clivage p (001) est jalonné par de fines cassures rectilignes, surtout visibles aux forts grossissements et en abaissant le polariseur. Parfois on tire une excellente vérification de cassures plus grossières, mais plus visibles, parallèles aux clivages m (110) ou t ($\bar{1}$10).

La recherche des fines cassures p (001) est facilitée par deux circonstances ; elles sont toujours assez voisines de la direction négative n'_p d'extinction, puisque cette dernière oscille entre + 20° et — 36°. Elles sont souvent jalonnées par de fines lamelles hémitropes suivant la loi du péricline.

e. Nous n'avons pas parlé jusqu'à présent de cette macle parce

qu'au point de vue optique, elle se confond presque rigoureusement avec les individus (1') maclés suivant la loi de l'albite; mais il plane une certaine incertitude sur la face d'association qui lui est propre ; en tout cas, pour les oligoclases et les andésines, cette face se confond presque avec p (001), et il ne m'a pas semblé qu'elle s'en éloignât sensiblement dans le labrador. Par contre, l'abondance des lamelles, maclées suivant la loi du péricline, gêne le diagnostic tiré de l'effacement de la macle suivant la loi de l'albite, surtout dans l'anorthite où la macle du péricline prédomine parfois sur celle de l'albite. Dans l'anorthite de Saint-Clément, la face d'association est à environ — 15° de p (001), dans la zone ph^1 (001)(100) et dans l'angle aigu pg^1 (001)(010).

f. — Il nous reste à recourir aux images en lumière convergente : la bissectrice n_g est visible dans la face g^1 (010) pour l'albite, l'oligoclase et l'andésine. L'oligoclase anormal de deuxième classe (pl. III) donne une image presque centrée, avec une extinction à + 6° dans g^1 (010).

Comme les zones concentriques d'accroissement des plagioclases atteignent le plus souvent, à la périphérie, suivant un mince liséré, une acidité qui implique le centrage de l'image en lumière convergente, il est utile de procéder à cette vérification.

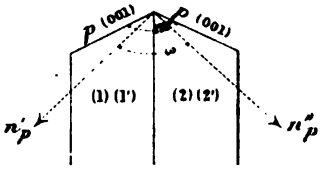


Fig. 8.

2° Une fois la section convenablement choisie, il est nécessaire de l'orienter, c'est-à-dire d'y découvrir la trace de p (001) et celle de l'arête du prisme. On sait en effet que l'extinction sera positive, au sens de Max Schuster, quand elle se fera dans l'angle obtus ph^1(001) (100), et inversement.

a. L'existence de la macle de Carlsbad, combinée avec la trace des clivages faciles p (001), donne la solution complète du problème ; il suffit de mesurer l'angle compris entre deux extinctions de même signe ; afin d'éviter toute erreur, il convient de choisir, parmi les deux angles supplémentaires, celui ω qui a la même bissectrice que l'angle à 128° des clivages p (001).

PLAGIOCLASE	LOCALITÉ	DENSITÉ	TENEUR EN SILICE	2V	n_{mj}	EXTINCTIONS à PERPENDT n_p	EXTINCTIONS à PERPENDT n_g
Albite . . .	Modane. . . .	2,600	68 0/0	+75°	1,5340	75°	*18°*[1]
Oligoclase .	Backersville .	2,651	63	—88	1,5395	87	*2*[1]
Andésine (?)	Roche-Sauve .	2,680	59	—82	1,5578	61	*15*[1]
Labrador (1)	Pico . . . . . (Lave de 1720)	2,695	56	+77	1,5589	60	20
Id. (2)	Pico (Cône) . . (Santa-Lucia) .	2,698	55,4	+77	1,5583	59	24
Id. (3)	S. Jorge . . . (Fayal)	2,705	53	+78	1,5635	58	32
Anorthite .	Somma. . . .	2,750	44	—78	1,5837	55	48

[1] Extinctions rapportées à la trace de p, la trace de g^1 étant trop oblique.

Si l'on rapporte les extinctions, perpendiculairement à n_p, à la direction négative et si en outre on tient compte des signes, les nombres précédents se transforment de la façon suivante :

Albite	— 15°
Oligoclase	+ 3
Andésine-labrador	+ 29
Labrador (1)	+ 30
— (2)	+ 31
— (3)	+ 32
Anorthite	+ 35

Ils seraient caractéristiques si l'on en connaissait les signes ; sinon ils laissent subsister l'indécision entre certaines albites et certaines andésines et la même remarque s'applique aux extinctions perpendiculairement à n_g, rapportées à la trace du clivage p (001).

On constate en outre que la variation est rapide, perpendiculairement à n_p, de l'albite à l'andésine ; puis elle devient fort lente et peu sensible des andésines basiques à l'anorthite. Par contre, les extinctions sur n_g, rapportées à la trace de g^1 (010), sont caractéristiques et suffisamment variées pour les feldspaths basiques. Mais elles présentent, surtout dans les labradors, le sérieux inconvénient de varier très rapidement par la moindre erreur d'orientation : une rotation de 5° autour de la perpendiculaire à g^1 (010) y amène une variation d'extinction de près de 10°, soit une erreur double de celle de l'orientation.

Tout au contraire, n_p, dans tous les feldspaths, est situé dans les régions voisines des points singuliers, où les variations sont extrêmement lentes.

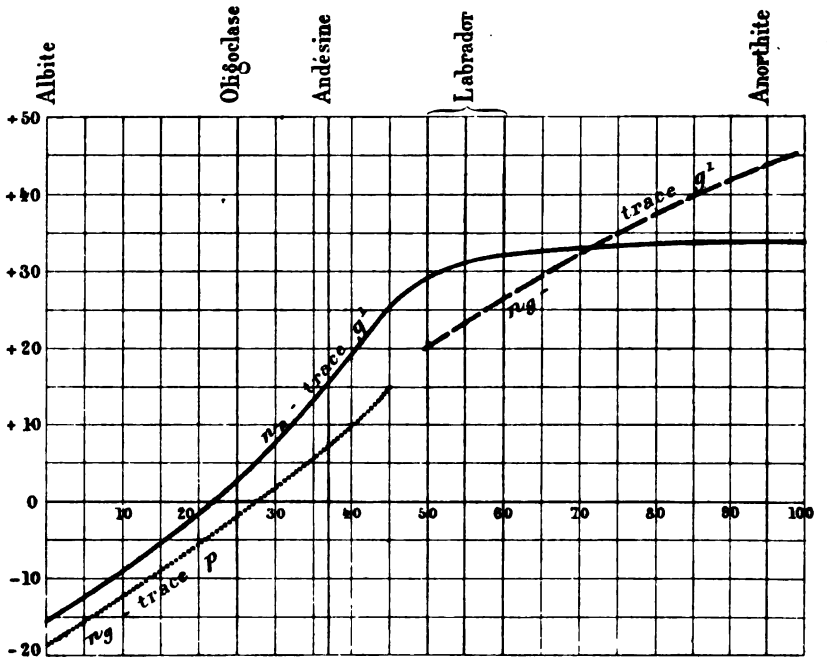


Fig. 9.
Extinctions dans les sections perpendiculaires à n_g et à n_p, d'après M. Fouqué.

Un coup d'œil, jeté sur les épures, rendra compte de ces diverses propriétés ; la Pl. VIII explique comment le changement de position du plan des axes optiques se fait d'une façon continue et entraîne les variations constatées, en même temps que le passage d'un signe à l'autre pour la bissectrice aiguë.

C. — SECTIONS PERPENDICULAIRES A L'AXE D'ÉLASTICITÉ MOYENNE n_m

Ces sections présentent le maximum de biréfringence et leurs images en lumière convergente sont en outre assez caractéris-

tiques. Elles peuvent donc rendre des services en plaques épaisses. M. de Fédoroff les a étudiées. Il a d'ailleurs indiqué le moyen de rendre plus sensible l'emploi du comparateur dans les teintes grises de premier ordre, en disposant les sections principales des Nicols parallèlement entre elles, au lieu de les croiser.

Malheureusement les épures générales montrent que, de l'albite à l'andésine inclusivement, les extinctions varient de + 2 à — 2°. Elles ne sont donc pas caractéristiques pour séparer les andésines acides des albites. Par contre pour les feldspaths basiques elles le deviennent en s'échelonnant de — 2° (andésine $Ab_3\,An_2$) à — 10° pour le labrador et à — 36° pour l'anorthite. Comme on le voit, les moyens les plus divers réussissent dans cette série basique, et la plupart échouent dans la série acide. Cependant les sections de biréfringence maximum sont susceptibles de rendre des services, notamment en cas d'absence des macles.

D. — SECTIONS PERPENDICULAIRES AUX AXES OPTIQUES

1° Axe A. M. de Fédoroff a également étudié les sections perpendiculaires aux axes optiques, en cherchant la valeur des extinctions que présentent alors les individus (1') maclés suivant la loi de l'albite. Nous y ajouterons les extinctions des lamelles (2) et (2') et l'angle du plan des axes optiques avec la trace g^1 (010) pour la lamelle (1) perpendiculaire à A, angle que l'on peut déduire avec une suffisante approximation de l'image en lumière convergente.

	(1)	(1')	(2)	(2')	OBSERVATIONS
Albite	A + 62°	+ 37°	+ 30°	+ 28°[1]	[1] Voisin de l'axe optique B'.
Oligoclase, Pl. II.	A 90°	0[2]	+ 25	— 25	
Olgoclase, Pl. III .	A — 82°	— 40[2]	+ 22	+ 22	[2] Voisin de A'.
Andésine.	A — 71°	— 48[2]	+ 15	+ 35	
Labrador, Pl. V. .	A — 49°	— 40	+ 10	+ 27	
Anorthite	A — 20°	— 53	— 25	+ 15	

La courbe, que l'on déduit de ces nombres pour les extinctions (1'), est très différente de celle donnée par M. de Fédoroff (A_2), parce qu'elle tient compte des signes et passe par 0° au voisinage de l'oligoclase. Elle peut donc être caractéristique pour les oligoclases acides, mais elle est impuissante à distinguer nettement les albites des andésines.

2° Axe B. On peut en dire autant des courbes afférentes aux sections perpendiculaires à l'axe optique B. Les nombres relevés sur les épures générales sont consignées dans le tableau suivant :

	(1)	(1')	(2)	(2')	OBSERVATIONS
Albite	B + 63°	+ 40°	+ 45°	— 32°	[1] Voisin de l'axe optique A'.
Oligoclase, Pl. II.	B 90°	90° [1]	— 35	— 25	[2] Voisin de l'axe optique B'.
Oligoclase, Pl. III.	B — 82°	— 42 [1]	— 17	— 16	
Andésine.	B — 69°	— 31 [1]	— 6	0	
Labrador, Pl. V. .	B — 57°	— 23	+ 3	+ 14	
Anorthite	B — 62°	— 12 [2]	+ 47	— 55	

Ceux afférents à l'albite ont dû être changés de signe, par raison de continuité et parce que l'axe optique B de l'albite doit être rattaché aux autres axes B du demi-cercle supérieur. M. de Fédoroff avait bien vu que la courbe (1') change de signe entre l'albite et l'andésine (A_1) ; mais il la fait passer par 0° quand en réalité elle passe par 90° ; au lieu de présenter les valeurs intermédiaires entre + 40°, 0 et — 42°, elle donne celles qui s'échelonnent entre + 40° et + 90°, — 90° et — 42°. Cette courbe donne lieu aux mêmes observations que la précédente.

E. — sections d'extinction simultanée pour les lamelles (1) et (1') maclées suivant la loi de l'albite

On doit à M. de Fédoroff la considération intéressante des sections dans lesquelles les lamelles, maclées suivant la loi de l'albite,

s'éteignent simultanément sous des angles d'ailleurs variables. On peut les rechercher pratiquement au moyen d'une règle graduée que l'on promène parallèlement au diamètre horizontal de l'épure, en déterminant les points où elle coupe, à égale distance du diamètre vertical, les courbes de même valeur absolue et de signe contraire, ou les courbes complémentaires et de même signe ; dans le premier cas, les extinctions se font suivant les directions de même signe *optique* des deux séries de lamelles ; dans le second, suivant les directions de signes optiques inverses.

On ne peut considérer utilement que les sections assez voisines de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010), à cause des recouvrements et des compensations qui se produisent plus loin.

Toutes ces courbes passent par le point où la courbe 0° coupe le diamètre vertical, et par les axes optiques des diverses lamelles. Nous avons déjà vu (p. 19) qu'elles ne peuvent croiser la courbe 0°-90° qu'en ces points. Elles ont toutes leur concavité tournée vers le haut, au voisinage du centre.

Les extinctions, parties de 0° dans ce voisinage, croissent lentement pour les fedspaths acides, de plus en plus rapidement pour les feldspaths basiques. En somme, pour devenir réellement caractéristiques, elles doivent être accompagnées d'une notion sur leur obliquité par rapport à la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010).

RÉSUMÉ RELATIF AUX SECTIONS DÉTERMINÉES

En résumé, parmi les sections spéciales, il convient d'accorder la préférence à la face g^1 (010), et aux sections, étudiées par M. Fouqué, perpendiculaires à n_g et à n_p. La première donne, à elle seule, la solution complète du problème, quand il est possible de l'orienter, et d'y découvrir la trace du clivage p (001) et la direction de l'arête h^1g^1 (100) (010).

Les sections perpendiculaires à n_g ou à n_p ont l'avantage de présenter en lumière convergente des images qui permettent de

juger de l'erreur commise sur leur orientation ; les extinctions ne suffisent pas, à elles seules, pour distinguer les albites de certaines andésines. Il est nécessaire d'y joindre l'indication très précise du signe de la bissectrice aiguë et de l'angle vrai des axes optiques.

En outre, l'étude des zones d'accroissement successif est rendue difficile par ce fait que, pour des variations chimiques un peu étendues, la section n'est pas simultanément perpendiculaire aux bissectrices des divers feldspaths qui s'enveloppent. A ce point de vue, la face g^1 (010) conserve une supériorité d'autant plus marquée que l'effacement des lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite y simplifie la recherche précise des extinctions.

III — RECHERCHES DES INDICES DE RÉFRACTION DES FELDSPATHS

Les indices de réfraction des feldspaths s'échelonnent régulièrement de l'orthose à l'albite et de l'albite à l'anorthite ; ils vont en croissant d'une façon continue et dans des limites assez étendues, comme on peut en juger par le tableau suivant :

	n_g	n_m	n_p	
Orthose (Saint-Gothard). .	1,526	1,524	1,519	Des Cloizeaux.
Microcline (Narestö)	1,529	1,526	1,523	ML et Lx.
Anorthose (Quatro-Ribeyras).	1,530	1,529	1,523	Fouqué.
Albite (Narestö).	1,540	1,534	1,532	ML et Lx.
Oligoclase (Bamle)	1,542	1,538	1,534	ML et Lx.
— (Backersville) . .	1,547	1,543	1,539	Offret.
Andésine (Roche-Sauve). . .	1,556	1,553	1,549	ML et Lx.
Labrador (Labrador). . .	1,562	1,557	1,554	ML et Lx.
Anorthite (Saint-Clément). .	1,586	1,579(?)	1,574	ML et Lx.
Quartz.	1,553	. . . . .	1,544	
Baume de Canada (maximum).		1,549	. . . . .	

Nous y avons joint les indices du quartz et du baume de Canada, comme termes de comparaison.

Jusque dans ces derniers temps, on jugeait des indices moyens de deux minéraux, juxtaposés en plaque mince, par le degré du relief que prenait leur surface, au contact du baume, lorsqu'on abaissait autant que possible le condenseur pour se procurer de la lumière peu divergente. M. Thoulet avait même proposé l'emploi des liqueurs denses pour faire disparaître le relief, une fois la

plaque décoiffée de son petit verre et débarrassée du baume ; mais c'était là un procédé peu sensible et d'application pénible.

On doit à M. F. Becke [1] une méthode incomparablement plus précise et plus commode : elle s'appuie sur la direction que prend un pinceau de rayons réfléchis totalement au contact de deux corps de réfringence différente : si l'on suppose la séparation à peu près perpendiculaire à la plaque mince, le pinceau de rayons plus abondants sortira du côté du corps le plus réfringent en faisant un certain angle avec l'axe du microscope.

Lorsqu'on met la plaque rigoureusement au point, ce faisceau se réunit dans un plan que l'oculaire reporte à la distance de la vision distincte, et la séparation des deux minéraux se fait nettement en bonne lumière. Si l'on remonte légèrement l'objectif, le même pinceau de rayons lumineux se réunit en un foyer un peu plus bas que dans le cas précédent, et d'où il diverge du côté de l'image du minéral le plus réfringent. Dès lors, en prenant les précautions convenables, on doit voir un liséré plus éclairé venir border la séparation du côté de ce minéral plus réfringent. Lorsqu'on abaisse l'objectif, l'effet inverse doit naturellement se produire et le pinceau éclairé vient border la séparation dans le minéral le moins réfringent.

Pour rendre le phénomène nettement sensible, il faut laisser subsister seulement le faisceau réfléchi totalement, et par conséquent se servir d'un éclairement assez faiblement convergent. On arrive commodément à ce résultat, soit en munissant le dessous du polariseur d'un petit diaphragme et en abaissant assez loin sous la plaque ce Nicol et son condenseur à boules, soit en plaçant le diaphragme sur le Nicol et sous le condenseur à boules, lorsque ce dernier est distinct du polariseur ; il faut d'ailleurs alors pouvoir descendre convenablement le Nicol et son diaphragme.

M. Becke cite également le relief que donne, au corps le plus réfringent, l'emploi de la lumière oblique, soit qu'on la lance dans ce corps en déplaçant le diaphragme inférieur, soit qu'on se serve du micro-réfractomètre oculaire d'Exner qui ne laisse sub-

[1] Voir page 12.

sister, à la hauteur du cercle de Ramsden, que les rayons obliques d'un côté. Mais après examen pratique, nous donnons personnellement de beaucoup la préférence au dispositif à lumière centrale.

En tout cas, ce dispositif, qui consiste à munir la partie inférieure du polariseur d'un diaphragme suffisamment petit, est tout à fait facile à improviser et il donne, avec le microscope Nachet notamment, des résultats satisfaisants.

Voici maintenant la méthode employée par M. F. Becke; il remarque qu'un seul coup d'œil sur la liste précédente montre que l'indice moyen du quartz est supérieur à celui de l'orthose, de l'albite et de l'oligoclase, inférieur à celui de l'andésine, du labrador et de l'anorthite.

Mais on peut aller plus loin, suivant M. Becke, dans la séparation des plagioclases, en recourant aux différences des indices n_g, n_m, n_p. Une section quelconque de feldspath comporte un indice n'_g compris entre n_m et n_g, et un indice n'_p compris entre n_m et n_p. De même une section quelconque de quartz comporte un indice $n_g^{\omega'}$, que l'on peut supposer assez près de l'indice extraordinaire en choisissant une section voisine du maximum de biréfringence, et un indice ordinaire n_p^{ω}.

M. Becke recommande de chercher les accolements du feldspath à déterminer et de quartz, tels que les deux minéraux s'éteignent à peu près simultanément. Dès lors les directions *parallèles*

$$(\Delta) \qquad n'_g \text{ et } n_g^{\omega'} \qquad\qquad n'_p \text{ et } n_p^{\omega}$$

coïncident entre elles, ou encore les directions *croisées*

$$(\delta) \qquad n'_g \text{ et } n_p^{\omega} \qquad\qquad n'_p \text{ et } n_g^{\omega'}$$

Si donc on trouve deux accolements favorables de quartz et du feldspath à l'étude, on peut avoir quatre constatations de différences, en faisant successivement coïncider chaque direction n'_g et chaque direction n'_p avec le plan principal du polariseur et en supprimant l'analyseur; l'on peut donc écrire :

$$\Delta_1 = n'_g - n_g^{\omega'} \gtrless 0 \qquad \Delta_2 = n'_p - n_p^{\omega} \gtrless 0$$

$$\delta_1 = n'_g - n_p^{\omega} \gtrless 0 \qquad \delta_2 = n'_p - n_g^{\omega'} \gtrless 0$$

On remarquera que les sections toujours éteintes de quartz donnent, elles aussi, deux des indications précédentes : le quartz n'y possède en effet que son indice ordinaire ; mais en orientant convenablement le feldspath, on pourra obtenir le signe des deux différences où s'introduit cet indice :

$$\delta_1 = n'_g - n''_p \qquad \text{et} \qquad \Delta_2 = n'_p - n''_p$$

Voici maintenant le tableau des différences tel que M. F. Becke l'a dressé :

PLAGIOCLASES	AXES PARALLÈLES	AXES CROISÉS
1) Albites Ab à $Ab_8\ An_1$	$\Delta_1 < o\ \ \Delta_2 < o$	$\delta_1 < o\ \ \delta_2 < o$
2) Oligoclases acides $Ab_8\ An_1$ à $Ab_3\ An_1$ . .	$\Delta_1 < o\ \ \Delta_2 < o$	$\delta_1 = o\ \ \delta_2 < o$
3) — basiques $Ab_3\ An_1$ à $Ab_2\ An_1$.	$\Delta_1 < o\ \ \Delta_2 = o$	$\delta_1 > o\ \ \delta_2 < o$
4) Andésines acides $Ab_2\ An_1$ à $Ab_3\ An_2$. . .	$\Delta_1 = o\ \ \Delta_2 > o$	$\delta_1 > o\ \ \delta_2 < o$
5) — basiques $Ab_3\ An_2$ à $Ab_1\ An_1$.	$\Delta_1 > o\ \ \Delta_2 > o$	$\delta_1 > o\ \ \delta_2 = o$
6) Au-dessous de $Ab_1\ An_1$	$\Delta_1 > o\ \ \Delta_2 > o$	$\delta_1 > o\ \ \delta_2 > o$

Cette méthode s'applique avec une réelle précision toutes les fois qu'on arrive à trouver des contacts favorables de quartz et de plagioclases : les granites, les diorites quartzifères en permettent l'application. Mais il trop évident qu'elle n'élucide pas la question des microlites, et qu'en outre elle laisse souvent en suspens, même dans les granites, la nature des zones d'accroissement successif des grands cristaux, parce que le quartz n'en touche en général que la périphérie.

Il y a surtout, en pétrographie, un cas important où il était absolument désirable que cette élégante et délicate méthode pût trouver son application ; c'est celui où il est nécessaire de déterminer certains microlites très aplatis et à section très allongée, s'éteignant presque rigoureusement en long et formant des agrégats, souvent accolés parallèlement sans qu'on puisse affirmer que la macle de l'albite y devient apparente. Ces microlites ne peuvent appartenir qu'à l'orthose ou à l'oligoclase ; nous avons vu que les variétés anormales de deuxième classe de M. Des Cloizeaux, celles dont le plan des axes est perpendiculaire à g^1 (010) (pl. II), reproduisent extraordinairement les propriétés de l'orthose non

déformé, n'en différant que par un plus grand écartement des axes optiques.

Dans le même ordre de faits, la séparation des grandes plages d'anorthose et d'oligoclase prête à des difficultés analogues et on n'a pu l'assurer, jusqu'à présent, qu'en recherchant soigneusement l'angle des axes optiques, beaucoup plus petit dans l'anorthose toujours négatif (Fouqué).

Fort heureusement, la méthode de M. F. Beeke est susceptible d'une généralisation importante : d'abord l'indice maximum du baume est rarement atteint; on peut dire que, dans la majorité des cas, le baume aura pour indice un nombre supérieur à n_g de l'orthose, mais inférieur à n_p de l'oligoclase. Il suffit donc de rechercher les points où le baume touche un faisceau de ces microlites, bords ou trous de la plaque mince, et d'y faire la vérification de la réfringence relative.

Mais on peut opérer avec plus de certitude et de précision, en décoiffant la plaque mince, en la débarrassant soigneusement de son baume par des lavages à la benzine, et en y traçant des traits au moyen d'une pointe de diamant. Après avoir pratiqué ces entailles, il est nécessaire de laver de nouveau à la benzine et de vérifier que les biseaux de la plaque ne sont plus enduits de baume. Puis on dépose sur la plaque une goutte de liqueur de Klein (boro-tungstate de cadmium [1]) convenablement étendue d'eau, ayant par exemple un indice de 1,530 déterminé au moyen d'un réfractomètre. On couvre le tout d'un verre mince pour éviter l'évaporation trop rapide et l'on procède aux vérifications nécessaires, le long des sillons et des bords de la plaque mince; il y existe toujours des points favorables, où la liqueur dense touche une cassure fraîche du minéral à l'étude.

On peut même se passer d'un réfractomètre, en faisant usage d'une préparation comprenant un certain nombre de petits fragments de minéraux témoins, polis parallèlement au plan des axes optiques et juxtaposés dans l'ordre de réfringence croissante. Un tâtonnement de très courte durée permet de constituer des liqueurs comprenant entre elles la réfringence du minéral à

[1] C'est une des rares liqueurs denses qui n'attaquent pas trop vite le baume.

l'étude et le séparant des minéraux avec lesquels on pourrait le confondre. M. Werlein m'a préparé ainsi des plaques-témoin très commodes, comprenant jusqu'à 16 minéraux rangés 4 par 4 : fluorine, haüyne, leucite, orthose, microcline, albite, cordiérite, oligoclase, néphéline, quartz, andésine, labrador, anorthite, mélilite, apatite, andalousite.

Mes premiers essais m'ont donné des résultats tellement satisfaisants qu'il me paraît utile de faire entrer l'emploi combiné du procédé Becke et de la liqueur Daniel Klein dans la pratique courante des études pétrographiques ; dans ce but, je fais désormais déborder la plaque mince au delà du petit verre, et je recommande de décaper soigneusement ces bords à la benzine ; il s'y présente généralement tous les exemples nécessaires pour l'immersion dans les liqueurs Klein titrées.

En terminant, et avant de donner quelques exemples pratiques de détermination des feldspaths, il nous sera permis d'exprimer, avec M. F. Becke, l'espoir fondé que le mot de plagioclase disparaîtra des descriptions pétrographiques : l'emploi de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010), de la face g^1 (010), des sections perpendiculaires à n_p et à n_g, et enfin la détermination des réfringences relatives donnent des solutions rigoureuses et élégantes, auxquelles il suffit de s'accoutumer et de procéder avec soin, pour résoudre désormais le problème, même dans le cas où l'on a affaire aux microlites les plus ténus et en apparence les moins déterminables.

DÉTERMINATION DE QUELQUES FELDSPATHS

Granulite de la chaîne de Blond (Creuse, *près du sommet*). — *Plagioclase abondant*, orthose, quartz bipyramidé et rétracté, pénétrant dans les feldspaths par véritable corrosion à l'emporte-pièce ; mica blanc abondant en assez petites lamelles. — Structure granulitique.

La détermination du plagioclase est facile et nette :

1° *Maximum.* — Dans la zone de symétrie normale à g^1 (010) : 16°. La section choisie présente les extinctions (1) = + 15° (1') = — 16° ; elle est probablement maclée suivant la loi de Carlsbad ; mais les extinctions sont tellement simultanées qu'on peut écrire (1) = (2') et (1') = (2). La lamelle (1') est sensiblement perpendiculaire à n_p ; mais l'image est flou et il serait impossible d'apprécier, à plus de 10° près, si la bissectrice est centrée. Le plan des axes est à 74° de la trace g^1 (010). La bissectrice n_p essayée au moyen de la dislocation des hyperboles (voir page 9) paraît bien être celle de l'angle obtus ; le plagioclase serait donc positif.

2° *Essai sur les sections quelconques,* mais assez voisines de la zone de symétrie et présentant en outre un contact intime avec des grains de quartz à extinction à peu près simultanée avec celle du feldspath touché.

a) *Sections principales parallèles.* — On a $\Delta_1 < 0$ et $\Delta_2 < 0$. En prenant $b = \frac{a+c}{2}$, $e = \frac{d+f}{2}$ (voir page 40), la section étudiée donne :

$a = -12$	$b = -13$	$c = -14$
$d = +12$	$e = +12\ 1/2$	$f = +13$

C'est la lamelle (2), pour laquelle $f = +13$, qui touche le quartz.

b) *Sections principales croisées.* — Le quartz rouge (1) et (1') et l'on a $\delta_1 < 0$, $\delta_2 < 0$.

$a = -4$	$b = -8$	$c = -12$
$d = +2$	$e = +6$	$f = +10$

3° Une section g^1 (010), sans contour, sans trace de clivage facile, mais avec pénétration de Carlsbad et effacement presque complet des lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite, donne $\omega = 157°$ (voir page 49) ou son supplément. Cet angle correspond à + 15° dans le sens de Max Schuster, à partir de l'arête pg^1 (001) (010).

Tout concorde donc et les diverses méthodes, énumérées plus haut, se prêtent un concours réciproque pour permettre d'attribuer à l'albite le feldspath triclinique abondant de la granulite étudiée. L'emploi de la liqueur de Klein, convenablement étendue, a confirmé le diagnostic et prouvé que ce plagioclase est moins réfringent que l'oligoclase, et à fortiori que l'andésine, seul feldspath avec lequel il pourrait être confondu.

Granite à amphibole des Bordets, près Saint-Léon (Allier). — Amphibole verte, mica noir, *plagioclases très zonés*, orthose, quartz.

1° *Maximum* de la zone de symétrie dépassant ± 27° pour (1) (1') et correspondant à une extinction (2) (2'), de ± 12° environ ; dans les sections atteignant les plus grands angles, l'éclairement commun fait ressortir nettement la macle de Carlsbad ; de plus, il montre toute une succession de zones aboutissant, à la périphérie, à des extinctions toujours voisines de 0°. Cette particularité fait pressentir qu'il sera très difficile de trouver un contact du quartz et des variétés basiques, toujours enveloppées de zones à acidité croissante. Et en effet, presque tous les contacts se montrent tels que le quartz paraît le plus réfringent.

2° Cependant, une section assez voisine de la zone de symé-

trie fait exception à cette règle ; elle touche un quartz toujours éteint, et donne (voir page 61)

$$\Delta_2 < o \qquad \delta_1 > o$$

Les autres données sont les suivantes :

	a	*b* (moyenne)	*c*
Périphérie.	(de	— 2 à — 3°)	
Centre.	— 16	— 13	— 10

	d	*e* (moyenne)	*f*
Périphérie.	+ 6	+ 4 ½	+ 3
Centre.	+ 20	+ 21	+ 22

Il est clair que le quartz touche ici un oligoclase basique, lui-même moins réfringent que les zones intérieures dont le centre est en labrador. Du reste, il n'y a pas passage gradué en tous les points, et, par places, les réflexions totales montrent brutalement cette basicité croissante.

3° Une section g^1 (010), reconnaissable à la macle de Carlsbad, à l'effacement de la macle de l'albite, et au contour des zones d'accroissements qui montre les profils p (001), a^1 (101), $a'/_2$ (201), donne les extinctions suivantes :

1°) Petite zone extérieure.	+ 2°
2°) Petite zone suivante	0°
3°) Grande étendue irrégulièrement moirée et montrant une dispersion assez intense.	— 19°
4°) Centre et parties mêlées irrégulièrement avec la zone n° 3 ; également très dispersif.	— 29°

Il y a des passages entre les diverses zones, mais moins graduées et plus brusques qu'on ne pourrait s'y attendre ; le feldspath n° 3, correspondant au labrador, est de beaucoup dominant.

En somme, les extinctions montrent que le plagioclase va du labrador et même de la bytownite à l'oligoclase basique. La méthode de M. F. Becke ne permet pas ici la vérification des zones intérieures et vraiment abondantes.

Diabase ophitique de Tillière (bourg), près Cholet (Vendée). — Cette ophite, à gros grain, contient un peu de péridot.

1° *Maximum* de la zone perpendiculaire à g^1 (010) : 40°.

2° *Sections quelconques bien maclées :*

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
Premier exemple . . .	+ 19°	+ 22°	+ 25°	+ 35°	+ 38°	+ 41°
Deuxième exemple . .	+ 24°	+ 25°	+ 26°	+ 38°	»	»

3° *Section* g^1 (010) avec macle de Carlsbad apparente : les clivages *pp* (001) (001) font 129°. Extinction moyenne à — 30° de pg^1 (001) (010).

Bytownite, vérifiée par le procédé Becke et la liqueur de Klein ; le feldspath n'est pas zoné et se montre très homogène.

Phonolite de la carrière d'empierrement, près le moulin de Lusclade (Mont-Dore). — Microlites à sections fines et très allongées, en faisceaux parallèles paraissant maclés suivant la loi de l'albite, mais, en réalité, simplement séparées les unes des autres par de la matière amorphe.

Extinctions rigoureusement longitudinales : on ne peut hésiter qu'entre l'orthose ou l'anorthose et l'oligoclase Ab_4 An_1. J'ai déjà conclu (*Bull. Soc. géo.*, 1890, XVIII, 797) à l'orthose ; l'examen d'une plaque décapée et immergée dans la liqueur de Klein montre que les microlites ont un indice toujours inférieur au plus petit indice de réfraction de l'albite, et, *a fortiori*, de l'oligoclase.

Granite à amphibole (vaugnérite) de Vaugneray (Rhône). — Nous avons signalé, M. Lacroix et moi, la présence du labrador dans la vaugnérite (*Bull. Soc. min.*, 1887, X, 27). Un échantillon, recueilli près de Messimy, montre une association encore plus basique : chaque section de feldspath triclinique présente trois ou quatre zones nettement tranchées et sans transition : le cœur et la troisième zone à partir du centre (qui constituent en moyenne les deux tiers du cristal) sont en labrador Ab_1 An_1 ; la seconde zone est en anorthite ; la quatrième zone, fort mince et manquant souvent, est en andésine basique. Toutes les propriétés concourent à ces conclusions :

1° *Section voisine du maximum dans la zone de symétrie;* il n'y existe que les macles de l'albite et du péricline.

Centre et zone extérieure.	$a = +20°$	$b = +24° 1/2$	$c = +29°$
Zone moyenne	$a' = +44°$	$b' = +51° 1/2$	$c' = +59°$

La lamelle a (1) est sensiblement perpendiculaire à la bissectrice n_p; il est impossible de juger du signe du cristal, la figure en lumière convergente étant très déformée par les macles multiples.

Ces nombres conviennent au méridien à 35° de h^1g^1 (100) (010) en haut, pour l'anorthite et pour le labrador Ab_1 An_1; la biréfringence de la plage d'anorthite est légèrement supérieure à celle du labrador; le procédé Becke montre que, dans toutes les orientations, cette anorthite est plus réfringente que le labrador qu'elle touche. Le cristal (1) est orienté avec p (001) dans le quadrant inférieur à droite.

2° *Section quelconque de la zone de symétrie :*

Centre et périphérie .	$a = -16°$	$b = -16° 1/2$	$c = -17°$
Zone moyenne. . . .	$a' = -32°$	$b' = -33° 1/2$	$c' = -35°$

Biréfringence de la partie de la section appartenant à l'anorthite, supérieure à la biréfringence maxima du quartz de la même plaque; le labrador a une biréfringence à peine égale à la moitié.

Cette section convient au méridien à 80° au-dessous de h^1g^1 (100) (010), et confirme absolument les précédentes déterminations (voir Pl. V et VII).

On y constate que n_p de l'anorthite est de beaucoup plus élevé que n_g du labrador à l'étude.

3° On trouve, dans la plaque, de bons contacts de labrador et de quartz; $\delta_2 > 0$.

4° Une section g^1 (010) nous a donné les nombres suivants, rapportés au clivage p (001) :

Bordure extérieure très mince	— 6°
Centre et zone large extérieure.	— 13°
Zone large intérieure.	— 34°

Ces nombres sont un peu faibles, par rapport aux autres propriétés constatées.

On sait que la roche contient de l'apatite en abondance, du mica noir, de l'amphibole et de l'orthose. Il est très original de constater qu'au cours de l'accroissement régulier des plus anciens cristaux de feldspath, le magma a subi temporairement une influence basique extrêmement caractérisée, et nous avons développé ailleurs [1] l'idée que la nature des salbandes, assimilées par le granite pendant son ascension, a souvent produit ce genre d'effets (granites à amphibole du Beaujolais, du Puy-de-Dôme, etc.).

Anorthites de diverses provenances. — Il est facile de régler la liqueur de Klein de façon qu'elle ait exactement l'indice n_g de l'anorthite de la Somma. Dès lors, on constate aisément que l'anorthite de la diorite orbiculaire de Corse est sensiblement de même réfringence. Quant à celui des gabbros d'Husaas (Norvège), il a une réfringence légèrement inférieure; mais, chose remarquable, l'amphibole qui l'accompagne paraît avoir un indice n_p un peu inférieur à l'indice n_g non seulement de l'anorthite de la Somma, mais même de celui qui le touche directement. Pour ces délicates constatations, il faut avoir soin de choisir des contacts bien perpendiculaires à la plaque mince, baisser beaucoup le Nicol et le condenseur avec leur diaphragme et observer avec un assez fort grossissement en lumière intense.

Dans une des plaques de la diorite orbiculaire, une section d'anorthite a donné les résultats suivants : le cristal (1) étant, aussi rigoureusement que possible, amené, au moyen de la platine de Fédoroff, à être perpendiculaire à l'axe optique B, les lamelles (1′) sont presque éteintes, mais encore visibles; les lamelles (2) et (2′) donnent aussi des extinctions difficiles à constater, parce que la biréfringence en est extrêmement faible; cependant on peut lire environ + 50° et — 60°. En tout cas, l'éclairement commun montre avec évidence qu'elles ne sont pas situées dans la zone de symétrie, et que par conséquent l'axe B,

[1] Granite de Flamanville, *Carte géol. de France*, *Bull.* n° 36, 1893.

pôle de la section (1), n'y est pas situé non plus. Le plan des axes, dans cette section, est bien à environ — 62° de la trace g^1 (010), comme on peut le constater au moyen de l'image en lumière convergente.

L'anorthite de Saint-Clément se rapproche beaucoup de celui d'Husaas; ses indices paraissent légèrement inférieurs à ceux de la Somma.

Il présente un développement extraordinaire de la macle du péricline. Une des sections montre les lamelles (1) (redressées avec la platine Fédoroff) perpendiculaires à l'axe optique A. C'est nécessairement A, car (1′) possède plus de 1/4 de λ de biréfringence. Le clivage facile p (001) est très marqué; l'extinction (1′) se fait à 33° de p (001), quand on choisit la direction négative n'_p. La trace du plan de macle, intermédiaire entre n'_p et p (001), est à 13° du clivage facile.

Or les épures donnent les résultats suivants : pour (1) coïncidant avec A, (1′) s'éteint à — 53° et p (001) a sa trace à — 87° de celle de g^1 (010); l'extinction se fait donc bien environ à 34° de la trace p (001) et puisque l'angle comprend la trace de macle, c'est que le plan de macle est, comme l'indique von Rath, dans l'angle aigu h^1g^1 (100) (010).

EXPLICATION DES PLANCHES

Les numéros en rouge indiquent en degrés l'extinction rapportée à la trace g^1 (010), dans le sens positif, tel qu'il a été défini page 16. Les numéros en noir indiquent les extinctions dans le sens négatif.

Les courbes rouges réunissent les pôles de même extinction.

Les courbes en bistre réunissent les pôles de même biréfringence : autour des axes optiques, la première courbe jalonne la biréfringence 0,25. Puis viennent les courbes 0,35 à 0,85; cette dernière entoure l'axe moyen n_m.

Les axes d'élasticité (indices principaux) sont représentés ainsi qu'il suit : n_g plus grand indice correspondant à la plus petite élasticité; n_m indice moyen, élasticité moyenne; n_p plus petit indice correspondant à la plus grande élasticité. A et B sont les traces des axes optiques.

Les grands cercles noirs, qui joignent deux à deux les traces n_g, n_m, n_p, représentent les plans principaux d'élasticité. Naturellement, le plan n_g n_p passe par les axes optiques A et B.

Les planches I à VII représentent les principaux types de plagioclases.

La planche VIII donne un groupement des axes d'élasticité et optiques de ces feldspaths (encre noire), comparé à celui dû à M. de Fédoroff (bistre); sur cette planche VIII, les courbes en rouge représentent l'angle fait par la trace du clivage p (001) avec le clivage g^1 (010).

En noir : 1. Anorthite Ab_{11} An_{200}.
— 2. Labrador Ab_2 An_3 à Ab_3 An_4.
— 3. Labrador Ab_1 An_1.
— 4. Andésine Ab_5 An_3.
— 5. Oligoclase Ab_3 An_1.
— 6. Oligoclase Ab_4 An_1.
— 7. Albite Ab.

En bistre : 1. Anorthite du Vésuve.
— 2. Bytownite de Pessegow.
— 3. Bytownite-Labrador de la vallée du Koisu (Turkestan).
— 4. Labrador du Labrador.
— 5. Oligoclase de Tvedestrand.
— 6. Albite (Des Cloizeaux et Max Schuster).

TABLE DES MATIÈRES

Introduction et historique 1

Principe des nouvelles épures. 15

Choix des constantes optiques 23

Applications pratiques : I. Sections en zones. — Zone perpendiculaire à g^1 (010). 29
Zone passant par la normale à h^1 g^1 (100) (010) située dans g^1 (010). . 40
Zone parallèle à h^1 g^1 (100) (010). 42
Zone parallèle à pg^1 (001) (010). 42
Résumé relatif aux zones ; points singuliers. 43

II. Recherche de sections déterminées. — Sections parallèles à g^1 (010) . 46
Sections perpendiculaires aux bissectrices 51
Sections parallèles au plan des axes optiques. 53
Sections perpendiculaires aux axes optiques 54
Sections d'extinction simultanée pour les lamelles maclées suivant la loi de l'albite 55
Résumé relatif aux sections déterminées. 56

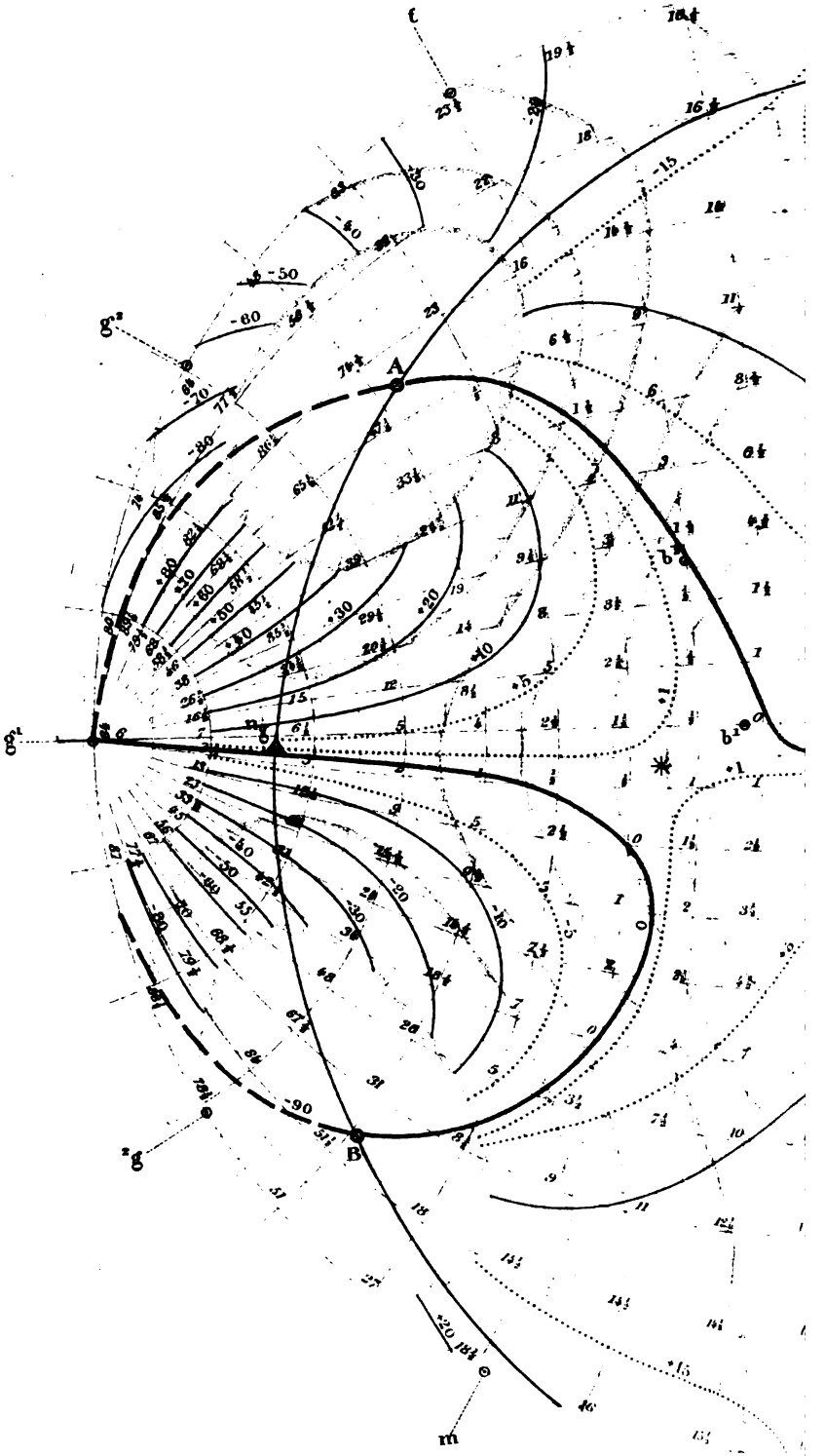
III. Recherche des indices de réfraction. — Procédé F. Becke. 59
Emploi de la liqueur Daniel Klein. 62

Détermination de quelques feldspaths. 64

Explication des planches. 71

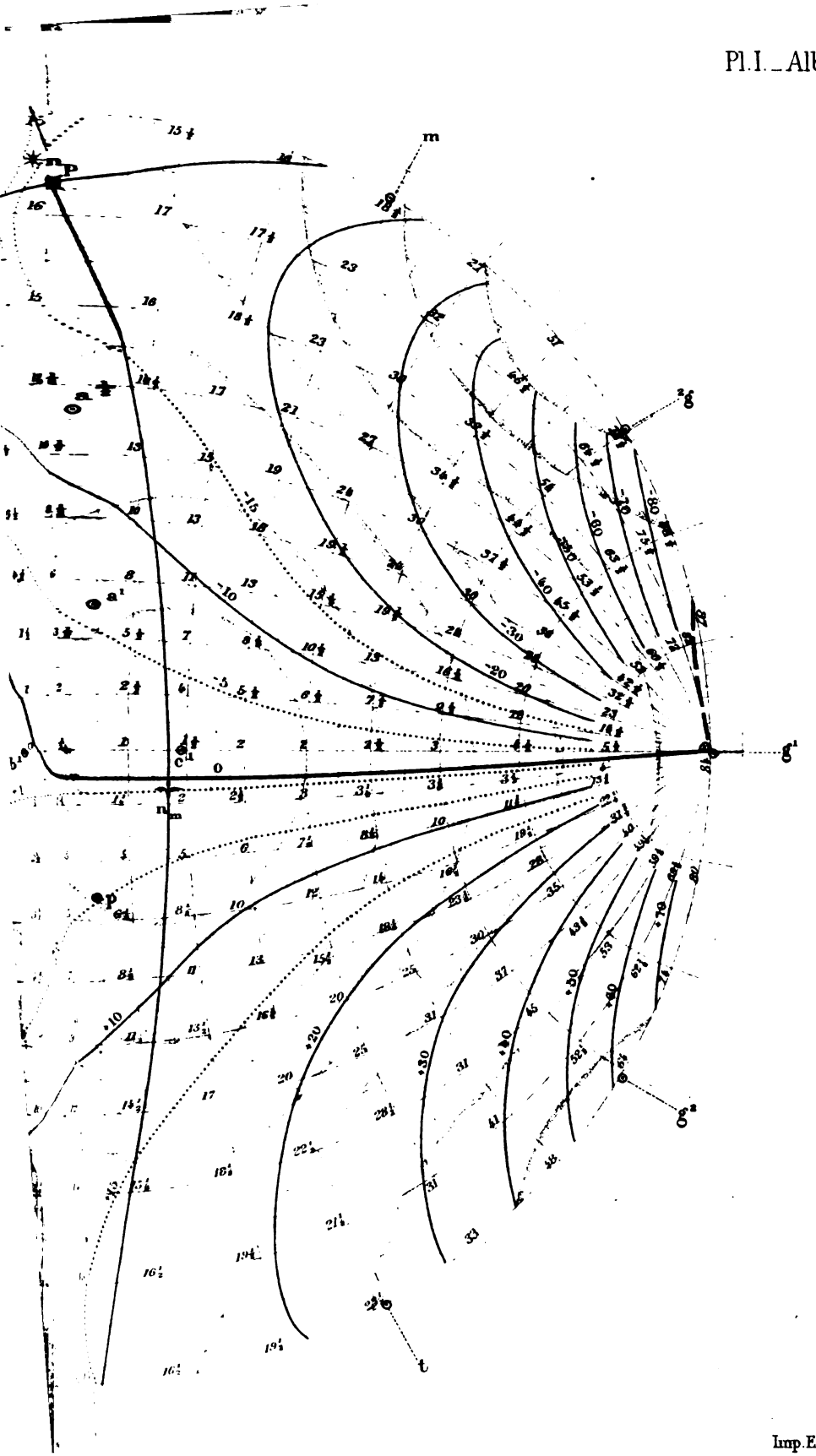
ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

A. Michel Lévy. – Les feldspaths en plaque mince.



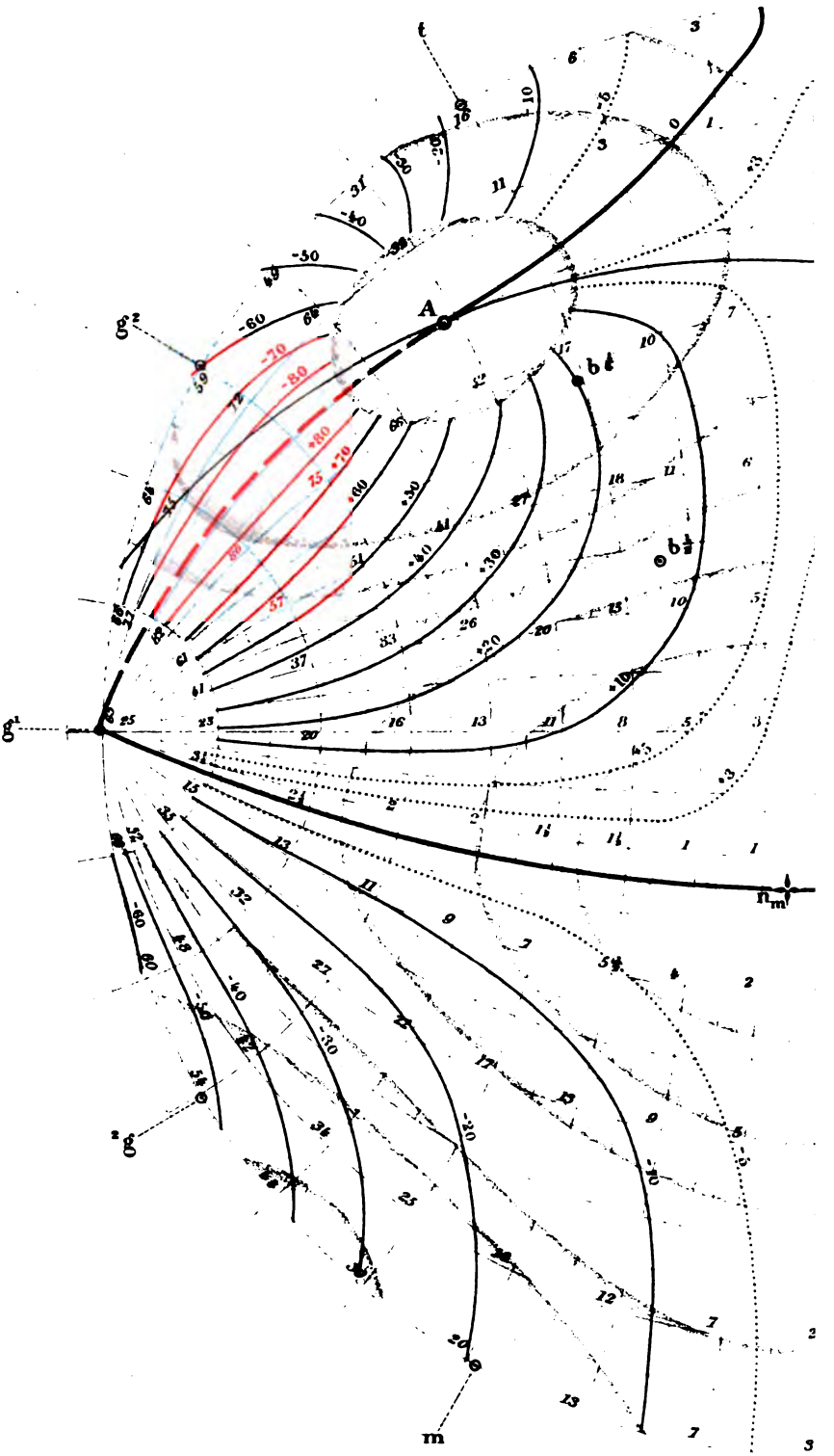
Erhard Sc.

Pl. I. – Albite. Ab.

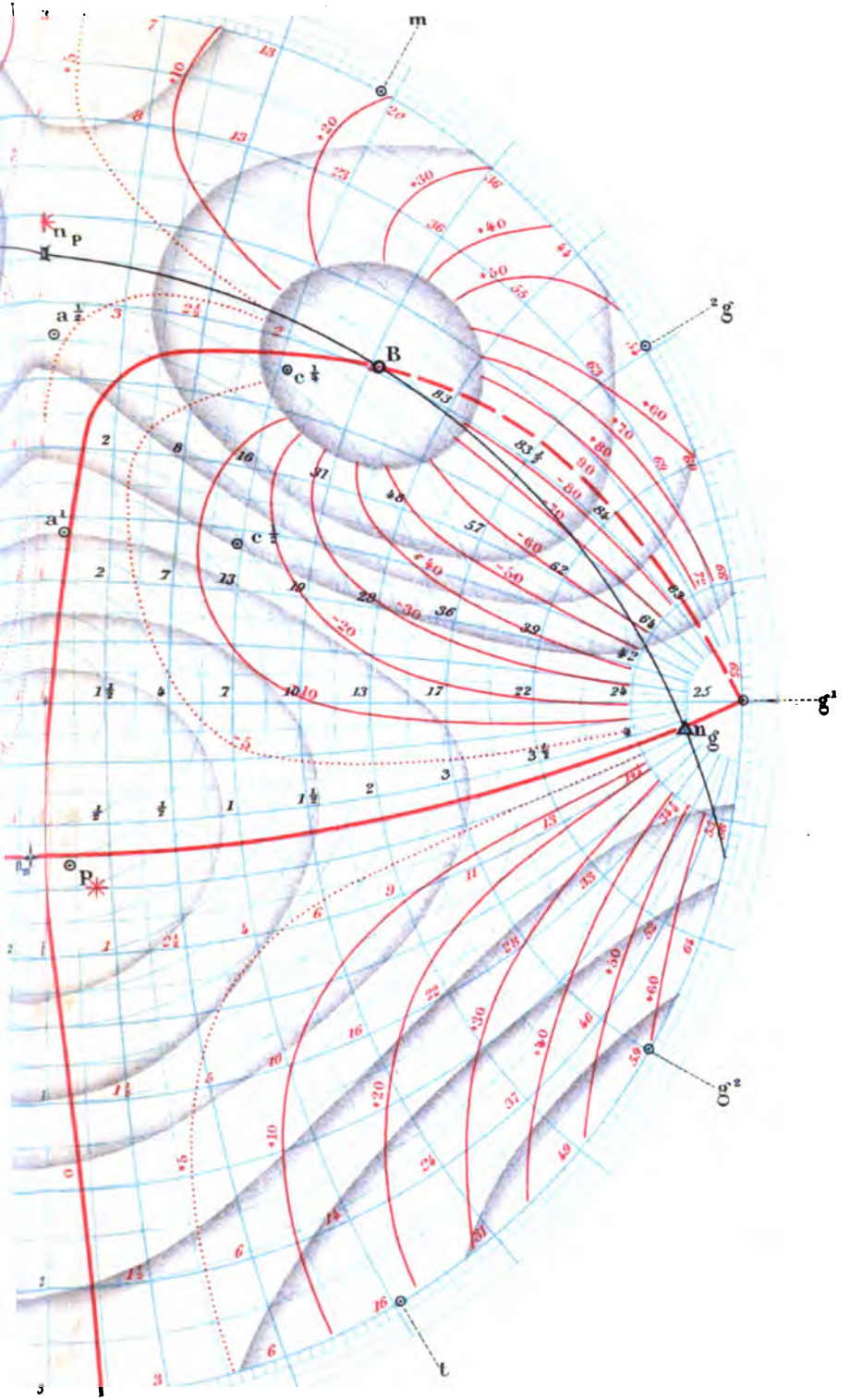


Imp. Erhard Frres

A. Michel Lévy. – Les feldspaths en plaque mince.

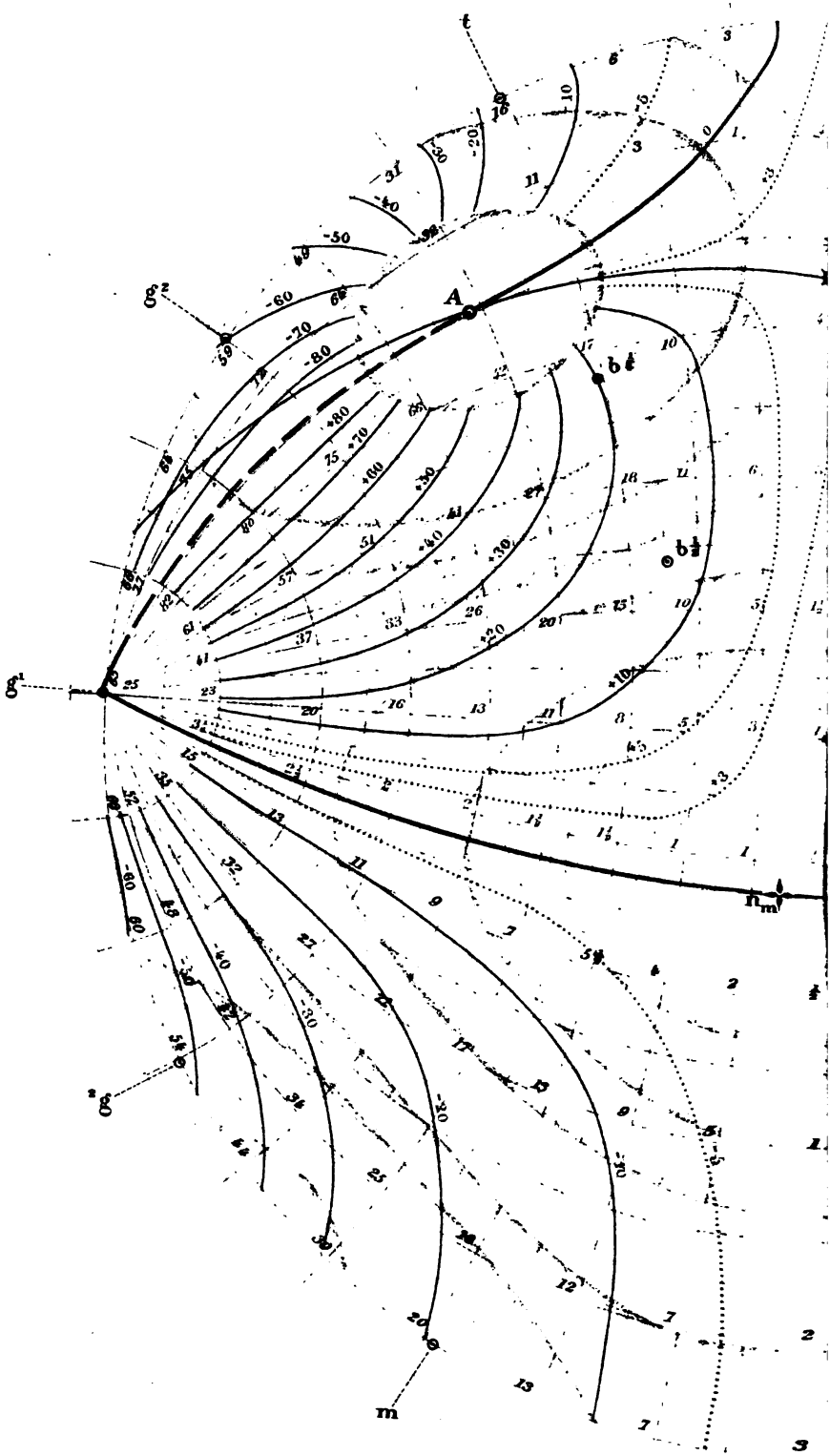


Erhard Sc.



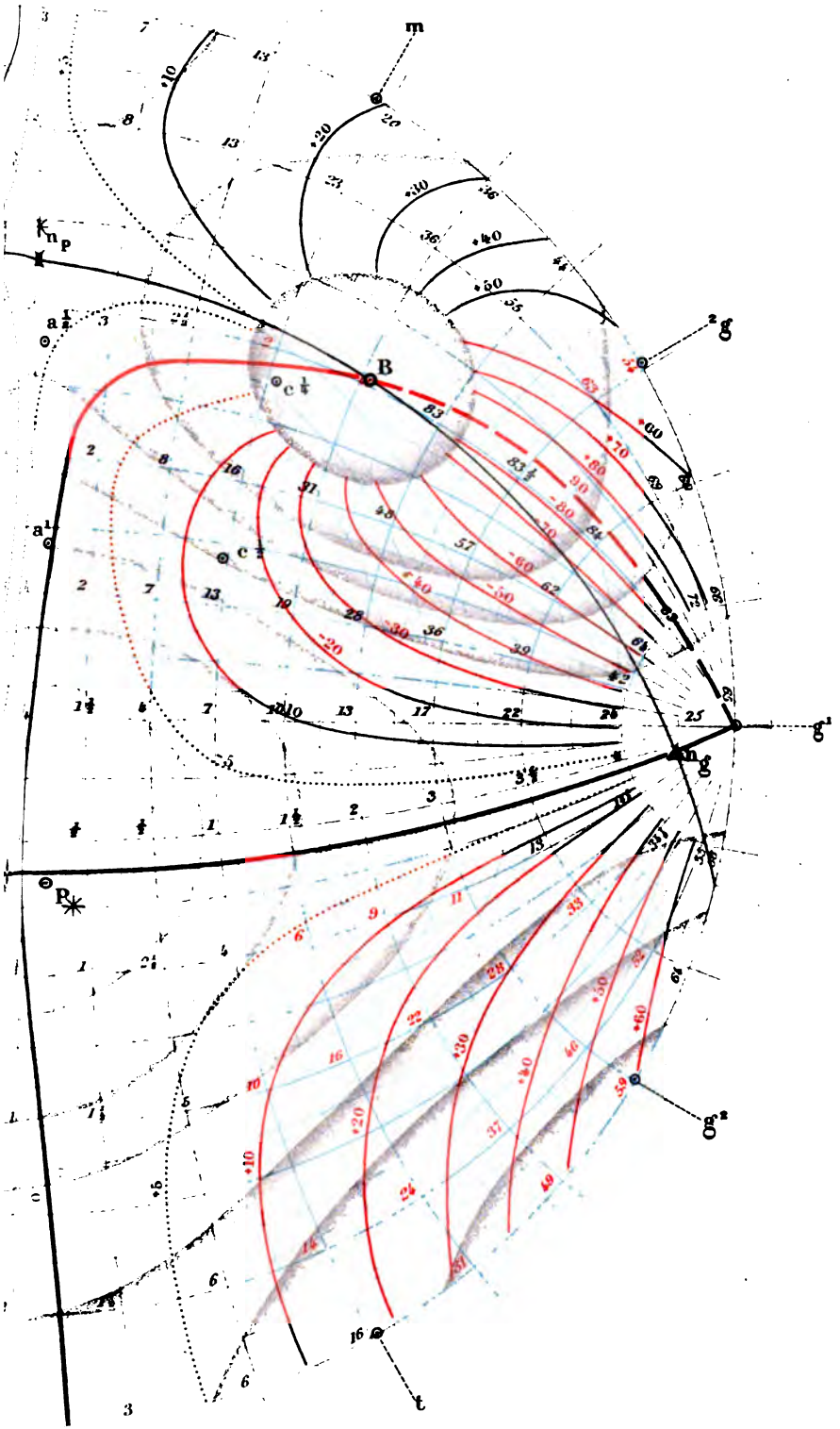
Imp. Erhard Frères

A. Michel Lévy. — Les feldspaths en plaque mince.



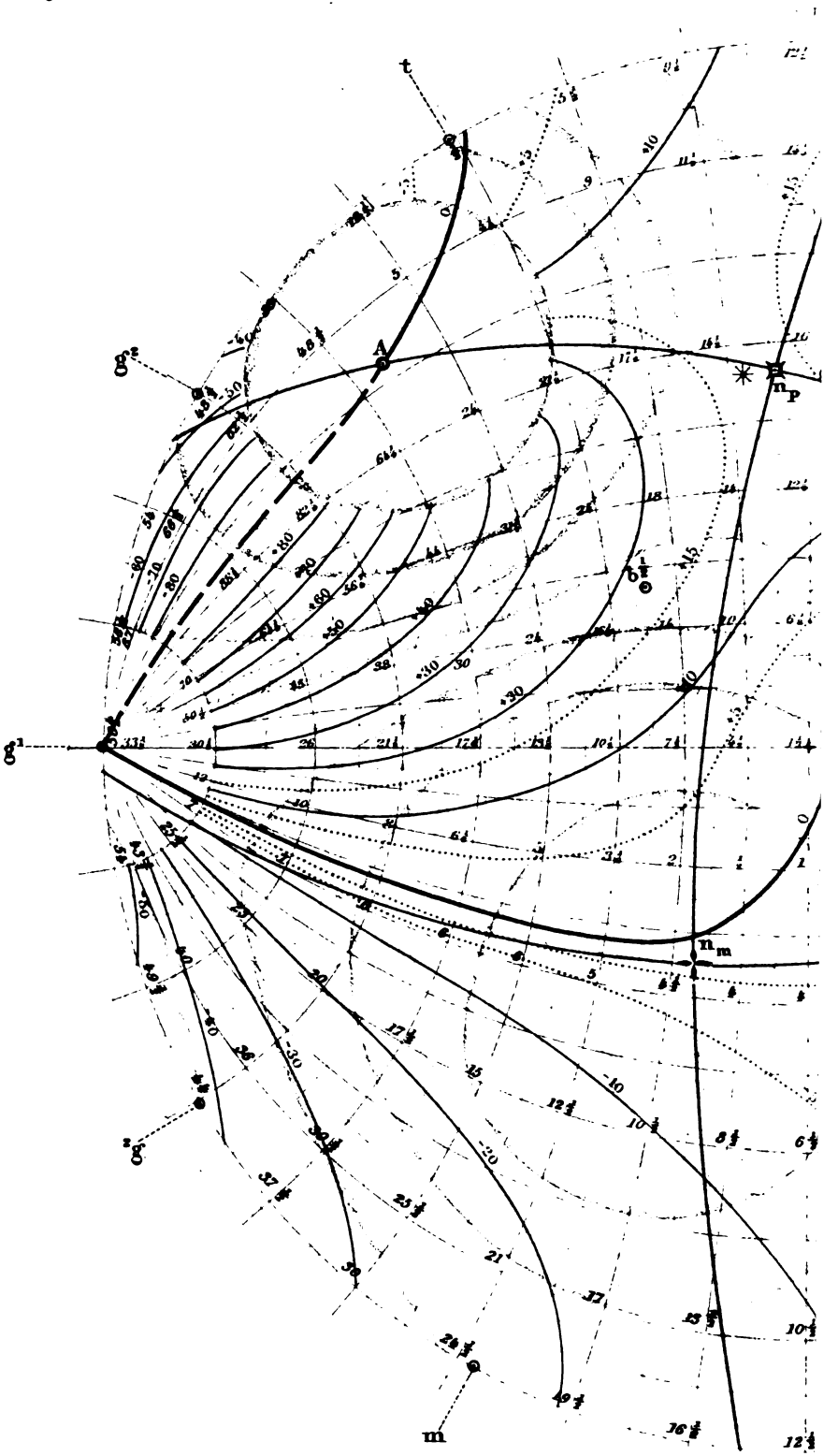
Erhard Sc.

Pl. III. _ Oligoclase. Ab_3An_1



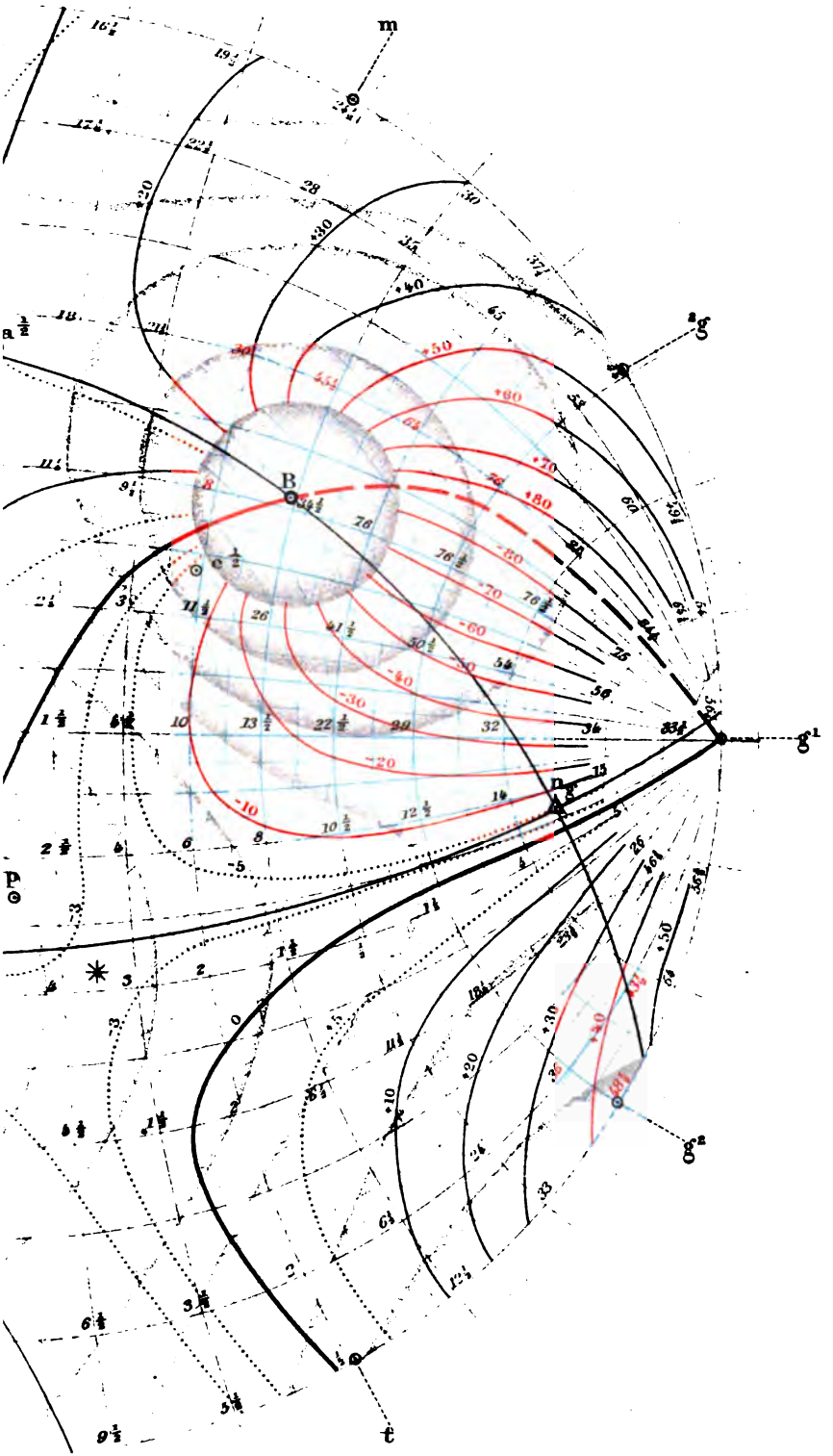
Imp. Erhard Frres

A. Michel Lévy. — Les feldspaths en plaque mince.



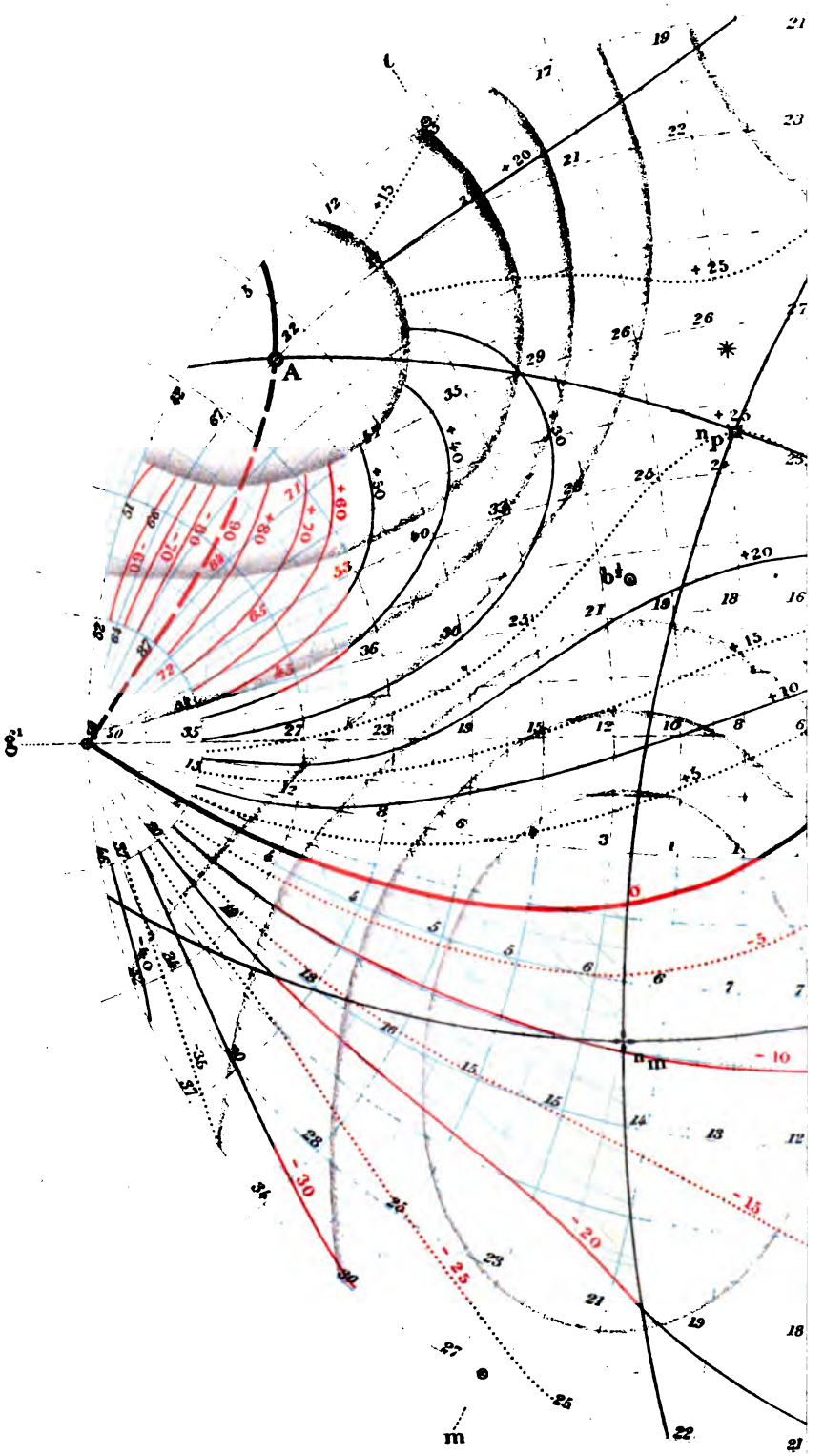
Erhard Sc.

Pl. IV. — Andésine. $Ab_5 An_3$

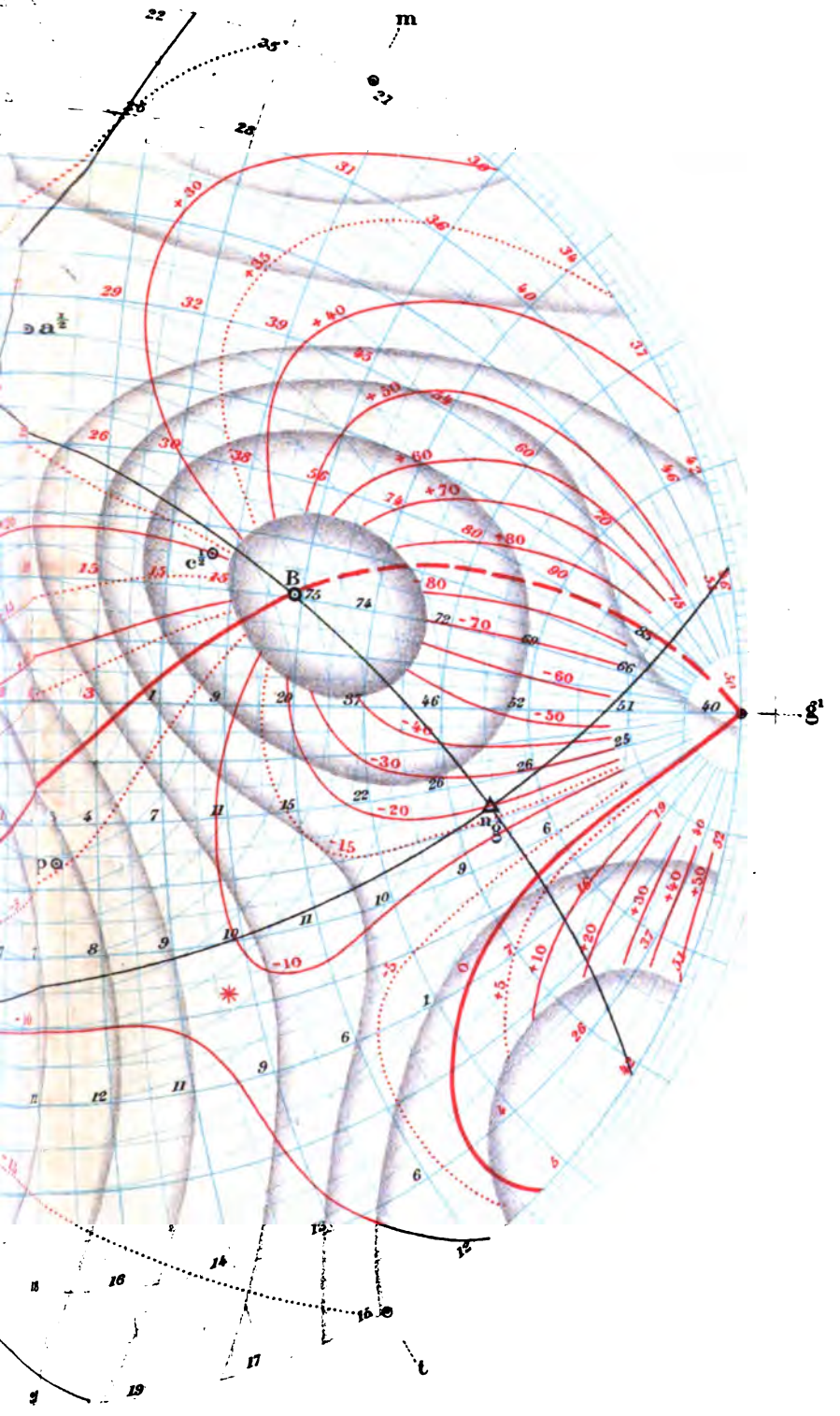


Imp. Erhard Frres

A. Michel Lévy. – Les feldspaths en plaque mince.

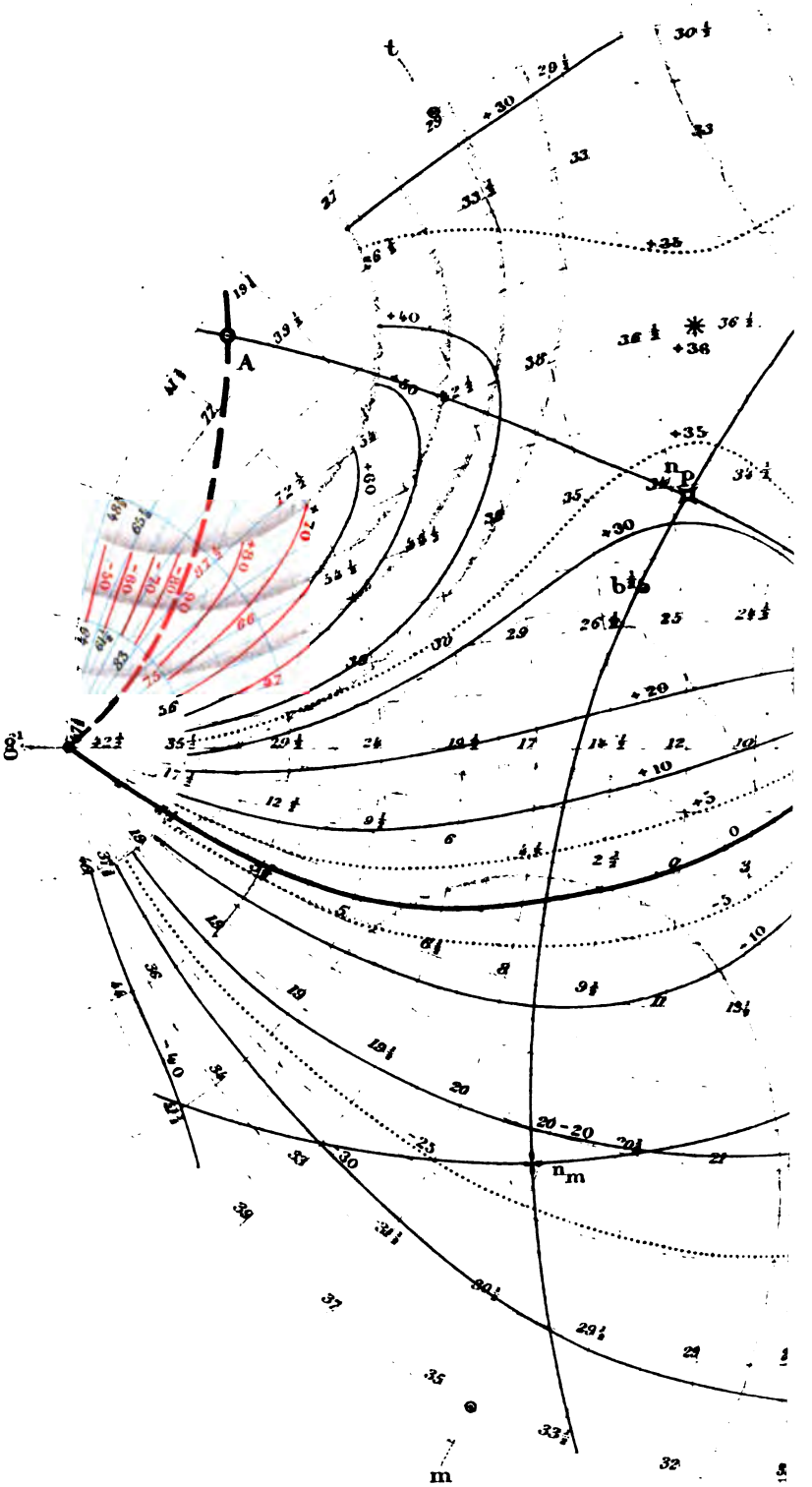


Erhard Sc.



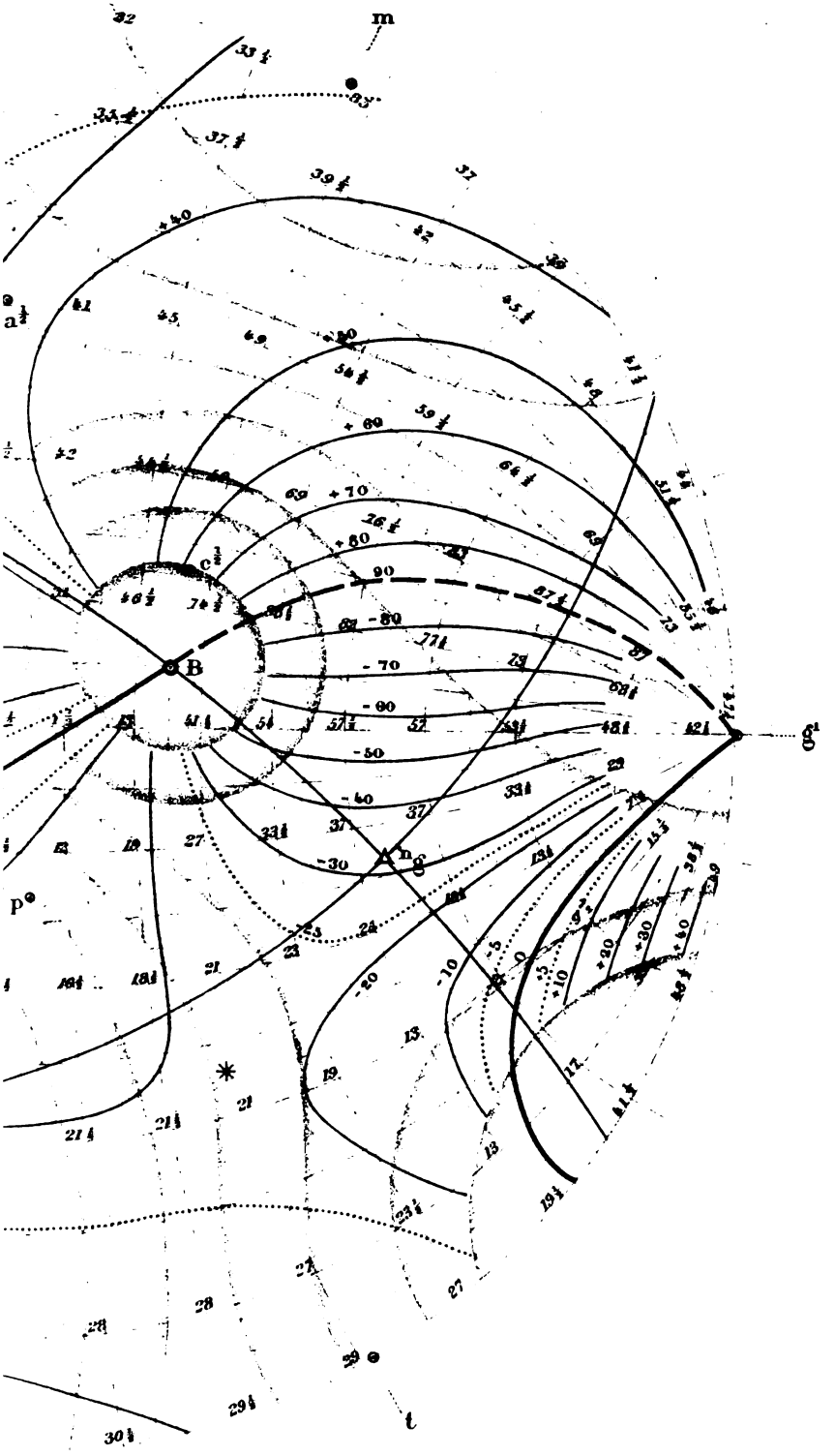
Imp. Erhard Frres

A. Michel Lévy. _ Les feldspaths en plaque mince.



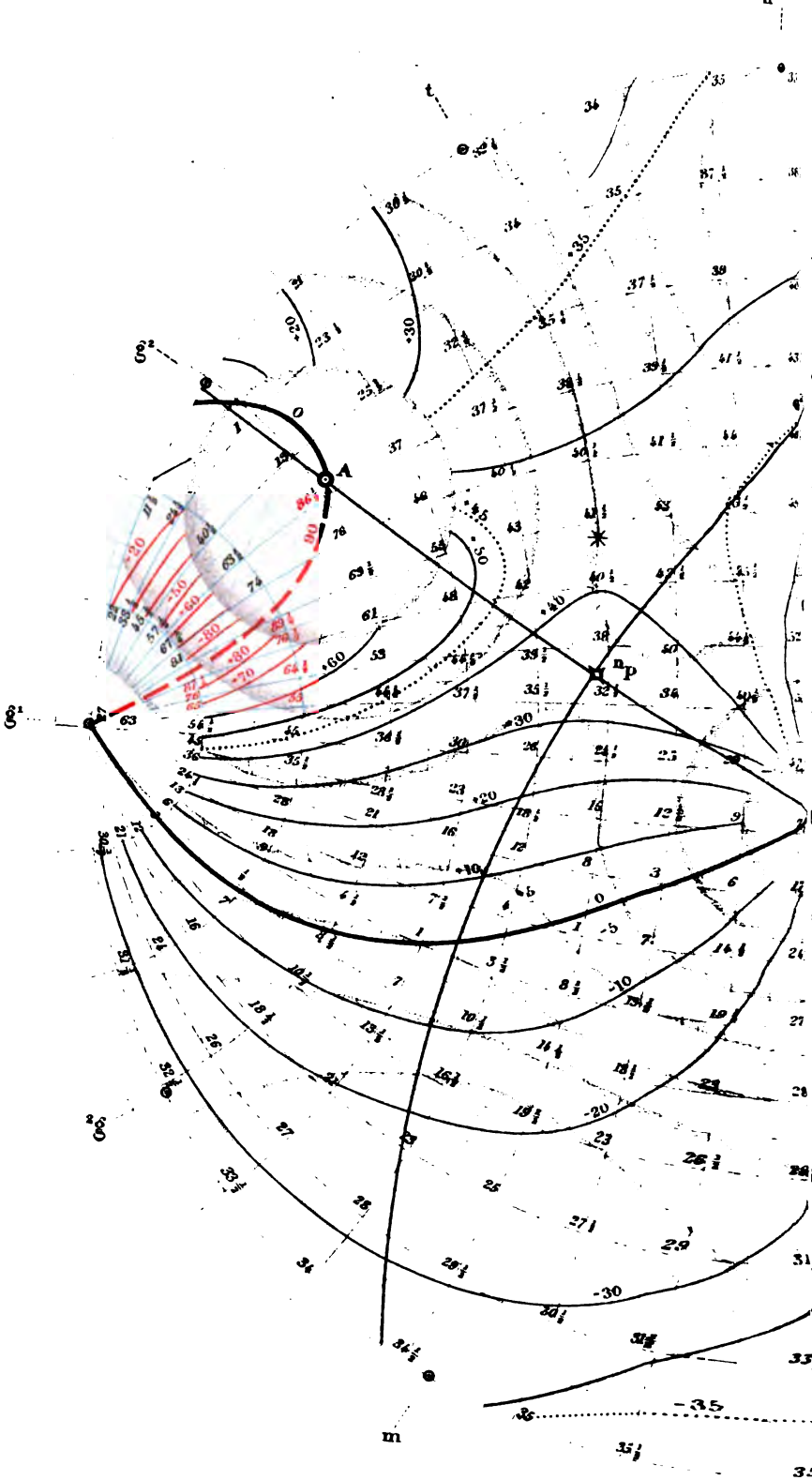
Erhard Sc.

Pl.VI._ Labrador. Ab_3An_4



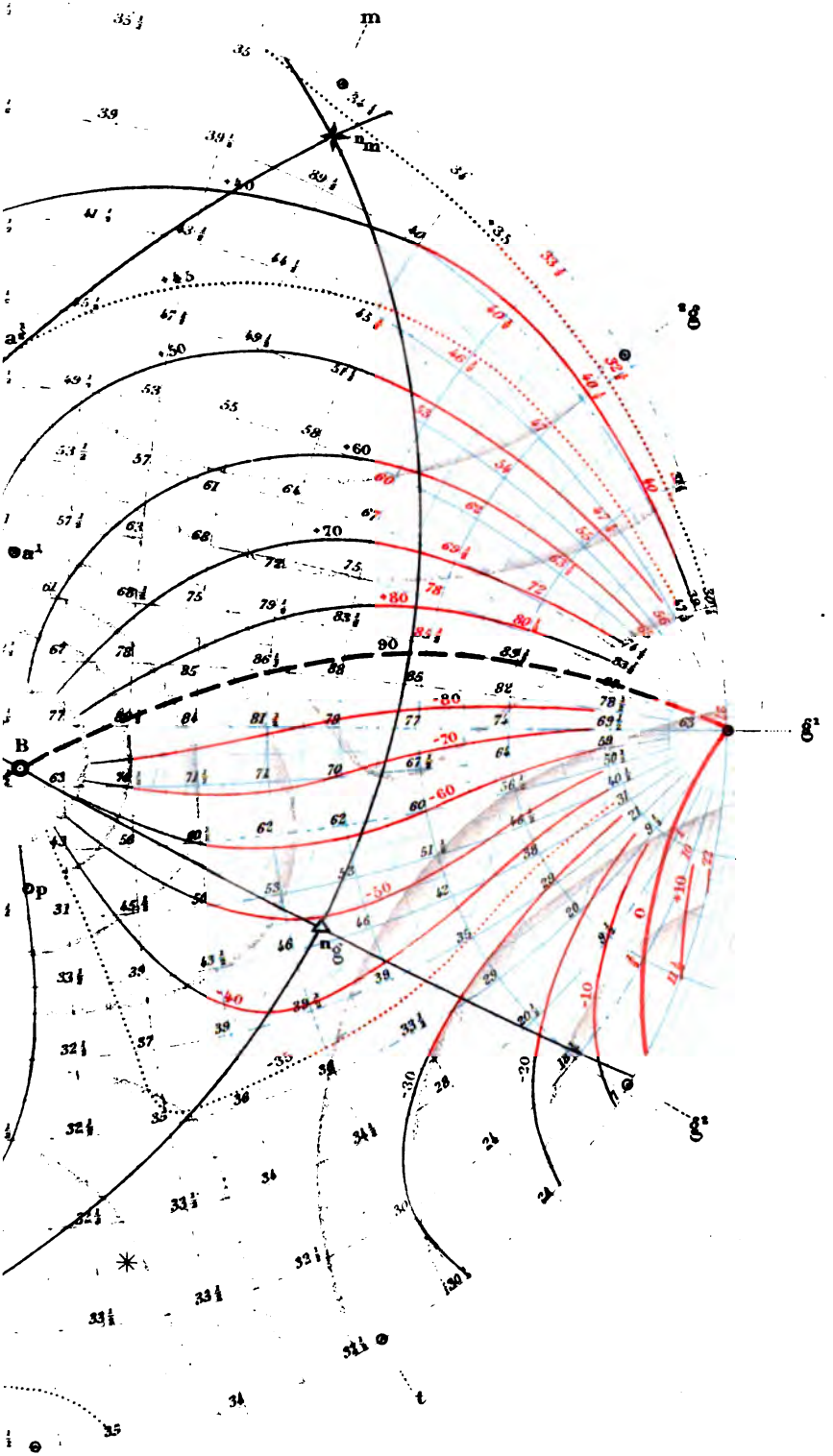
Imp. Erhard Frres

A. Michel Lévy. – Les feldspaths en plaque mince.



Erhard Sc.

Pl. VII. – Anorthite. An.



I 2.35

ÉTUDE SUR LA DÉTERMINATION

DES

FELDSPATHS

DANS LES PLAQUES MINCES

(*Deuxième fascicule*)

SUR L'ÉCLAIREMENT COMMUN DES PLAGIOCLASES ZONÉS

PROPRIÉTÉS OPTIQUES DU MICROCLINE

PAR

A. MICHEL LÉVY

Ingénieur en chef des mines
Directeur du service de la Carte géologique détaillée de la France

---

AVEC 13 PLANCHES EN COULEUR

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1896

Tous droits réservés.

ÉTUDE SUR LA DÉTERMINATION

DES

FELDSPATHS

DANS LES PLAQUES MINCES

AU POINT DE VUE

DE LA CLASSIFICATION DES ROCHES

sible, les résultats auxquels m'a conduit l'étude des positions d'égale intensité lumineuse de deux minéraux juxtaposés en plaque mince, renvoyant pour plus de détails aux « Minéraux des Roches[1] ».

Si l'on suppose qu'on a affaire à des minéraux peu biréfringents et à des plaques très minces, il n'est pas nécessaire d'opérer en lumière monochromatique, et l'identification des intensités et des teintes s'obtient avec une précision analogue à celle des extinctions elles-mêmes.

Dans ces conditions, si l'on appelle 2θ le plus petit angle compris entre les directions négatives d'extinction n'_{1p} et n'_{2p} des deux minéraux juxtaposés ;

B_1 et B_2 les différences $n'_{1g} - n'_{1p}$ et $n'_{2g} - n'_{2p}$, avec $B_1 > B_2$;

ω l'angle que fait la section principale du polariseur avec la bissectrice de l'angle 2θ, au moment des positions d'égale intensité lumineuse ;

toutes ces positions seront représentées par les deux équations suivantes :

$$\operatorname{tg} 2\omega = \operatorname{tg} 2\theta \frac{B_1 + B_2}{B_1 - B_2} \qquad (1)$$

$$\operatorname{tg} 2\omega' = \operatorname{tg} 2\theta \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2} \qquad (2)$$

Les valeurs ω procurent non seulement l'éclairement commun des deux minéraux juxtaposés, mais encore celui des parties de la plaque mince où ils sont superposés en quotités quelconques ; ainsi quand il n'y a que deux substances optiquement différentes en présence, les valeurs ω donnent naissance à l'illusion d'un tout homogène. C'est ce que nous avons proposé d'appeler l'*égal éclairement total* ou *éclairement commun*, et sa recherche équivaut à l'emploi d'un réactif sensible décelant l'existence de deux corps distincts et seulement de deux corps.

Les valeurs ω' ne procurent pas cette même illusion ; car si elles correspondent aussi à des éclairements communs des deux minéraux juxtaposés, dans les parties où ils ne se superposent

[1] *Les Minéraux des Roches*. 1re partie, p. 73, Paris, Baudry, 1888.

pas, elles donnent par contre une extinction plus ou moins complète, par compensation des parties en superposition.

Si l'on appelle ε et ε' les plus petites valeurs des angles ω et ω', on a

$$\omega = \varepsilon \pm n\frac{\pi}{2} \qquad 0 < \varepsilon < \frac{\pi}{4}$$

$$\omega' = \varepsilon' \pm n\frac{\pi}{2} \qquad 0 < \varepsilon' < \theta < \frac{\pi}{4}$$

Il est facile de voir que l'angle ε, compté à partir de la bissectrice de l'ange 2θ, tombe en dehors de cet angle, du côté n'_{1p} d'extinction, se rapportant à la section la plus biréfringente.

Au contraire la direction ε' tombe dans l'angle 2θ; elle est, elle aussi, plus voisine de n'_{1p} que de n'_{2p}.

Il est clair que les épures I à VII (fascicule n° 1) des plagioclases permettent d'aborder tous les problèmes relatifs aux éclairements communs, puisqu'elles fournissent les angles 2θ et, très approximativement, les valeurs B_1 et B_2; M. Viola[1] en a déjà fait une intéressante application, en cherchant à tracer les courbes ε' *afférentes à la macle de l'albite*, pour l'albite et l'andésine.

Mais, d'une part, l'étude des angles ε est plus intéressante que celle des angles ε'; d'autre part la méthode de l'éclairement commun, appliquée aux diverses zones d'accroissement d'un plagioclase, est susceptible d'applications théoriques plus importantes et pratiques plus décisives, au point de vue du diagnostic, que celles qui se déduisent de l'éclairement commun des macles suivant la loi de l'albite.

Dans ce qui va suivre, nous supposerons d'abord la loi de Tschermak rigoureusement vraie : les plagioclases sont un mélange d'albite et d'anorthite en proportions variables. Si donc nous ne nous occupons que d'un cristal fondamental de plagioclase (et non de ses macles), il n'y a en présence que deux corps optiquement différents que nous supposons être de l'albite et de l'anorthite, ayant les faces g^1 (010) et les arêtes h^1g^1 (100) (010) parallèles, les faces p (001) à peu près parallèles. Dès lors, pour chaque pôle de l'épure stéréographique, il y a un angle ε, et un

[1] C. Viola. *Zeitschrift für Krystall.*, XXIV, p. 475, 1895.

seul, pour lequel l'éclairement commun se produit non seulement entre l'albite et l'anorthite supposés juxtaposés, mais encore pour tous leurs mélanges, c'est-à-dire pour tous les plagioclases, et par conséquent pour toutes leurs zones d'accroissement. Quant aux angles ε', ils ne se traduisent que par l'extinction plus ou moins complète des plagioclases intermédiaires et je n'en ai pas trouvé d'application pratique aux plagioclases zonés.

Nous avons tracé, sur une épure stéréographique, les courbes des angles d'égal éclairement total ε, en partant des épures I de l'albite et VII de l'anorthite ; on peut l'appeler (pl. IX) l'épure d'égal éclairemement total des plagioclases. Mais au lieu de conserver l'angle ε rapporté à la bissectrice des extinctions, nous en avons déduit l'angle fait par le polariseur avec la trace de g^1 (010), au moment de l'égal éclairement total.

Appelons, pour un pôle quelconque,

λ, φ les coordonnées sphériques, méridiens et parallèles de ce pôle ;

α, β les angles d'extinction suivant n'_p de l'albite et de l'anorthite, rapportés à la trace g^1 (010) ;

E l'angle de l'égal éclairement total avec cette même trace. On a :

$$2\theta = \alpha - \beta$$

$$E = \frac{\alpha + \beta}{2} \pm \varepsilon \pm n\frac{\pi}{2}$$

On conviendra de prendre pour E seulement des valeurs comprises entre $-\frac{\pi}{4}$ et $+\frac{\pi}{4}$; il serait à coup sûr préférable de faire varier E de $-\frac{\pi}{2}$ à $+\frac{\pi}{2}$, comme nous l'avons fait pour les extinctions. Mais la distinction entre $+$ E et $-\left(\frac{\pi}{2} - E\right)$ n'est pas possible, lorsqu'on n'a affaire qu'à des superpositions ; elle ne peut se faire que si les corps composants sont visibles isolément, et si l'on peut ainsi déterminer la direction n'_p de la section la plus biréfringente.

C'est le tracé des courbes d'égale valeur E, ainsi définie, que nous avons reproduit sur l'épure (pl. IX) ; il a été obtenu point par point, en supposant à l'albite et à l'anorthite une biréfringence

maximum de 0,009 et de 0,012, et en partant des épures I et VII de l'étude sur la détermination des feldspaths.

Extinctions simultanées de l'albite et de l'anorthite. — L'examen de la formule

$$\operatorname{tg} 2\varepsilon = \operatorname{tg} 2\theta \frac{B_1 + B_2}{B_1 - B_2}$$

fournit *a priori* un certain nombre de vérifications fort utiles dont l'énumération a en outre un intérêt théorique : il y a d'abord la courbe des *extinctions simultanées* de l'albite et de l'anorthite, sur laquelle nous avons déjà insisté[1], parce qu'elle est jalonnée, pour ainsi dire, par les axes optiques des plagioclases intermédiaires. A cette courbe correspondent deux boucles séparées, celle des axes optiques A qui est de petites dimensions, et celle des axes B qui est voisine d'un grand cercle de la sphère. Dans chacune de ces boucles, on doit distinguer deux portions distinctes limitées par les axes optiques de l'albite et ceux de l'anorthite, mais se faisant suite sans discontinuité. L'une de ces portions est telle que n'_{1p} est parallèle à n'_{2p} ; en d'autres termes les ellipses des indices des deux corps sont, dans chaque section, allongées dans le même sens ; on a $2\theta = 0$ et par suite $\varepsilon = 0$. Comme la bissectrice de l'angle 2θ coïncide dans ce cas avec les axes n'_{1p}, n'_{2p}, l'égal éclairement total coïncide avec l'extinction simultanée et les valeurs E sont identiques avec celles des extinctions. On sait que, dans cette portion de la courbe des extinctions simultanées, il ne peut naître d'axe optique de plagioclases intermédiaires.

L'autre portion est constituée par les pôles correspondant à des ellipses croisées, dans lesquelles n'_{1p} coïncide en direction avec n'_{2g}. La compensation peut s'effectuer et, dans l'hypothèse de Tschermak, chaque point de la courbe correspond alors à l'axe optique d'un plagioclase intermédiaire[2]. Ici la bissectrice de l'angle 2θ est à 45° des extinctions, puisque cet angle 2θ est égal

[1] Recherche des axes optiques dans un minéral, pouvant être considéré comme un mélange de deux minéraux déterminés. *Bull. Soc. Min. fr.*, t. VIII, n° 3, 1895.

[2] Ce plagioclase est caractérisé par l'équation $m_1 B_1 = m_2 B_2$, dans laquelle B_1 et B_2 étant les biréfringences des sections d'albite et d'anorthite, m_1 et m_2 sont les proportions relatives de ces corps composants.

à 90°. Mais pour $2\theta = \frac{\pi}{2}$, on a également $2\varepsilon = \frac{\pi}{2}$; dès lors ε est aussi égal à 45° et revient en coïncidence avec les directions d'extinction. Ainsi, les valeurs E sont identiques avec celles des extinctions, tout le long de la courbe des extinctions simultanées.

Egale biréfringence de l'albite et de l'anorthite. — Il y a cependant une différence importante entre les deux portions de cette courbe caractérisées par les valeurs $2\theta = 0$, $2\theta = \frac{\pi}{2}$. Pour la mettre en lumière, nous considérerons une autre série de pôles, ceux pour lesquels il y a identité de biréfringence entre les deux sections juxtaposées des corps composants, $B_1 = B_2$. Dans l'exemple choisi (albite et anorthite), le lieu en question est composé d'une double boucle en ∞. Alors $\mathrm{tg}2\varepsilon$ devient infinie et ε égal à 45°; on peut donc, par un simple examen des angles d'extinction α et β de l'albite et de l'anorthite, déduire la valeur de E :

$$E = \frac{\alpha + \beta}{2} \pm \frac{\pi}{4}$$

Il est facile de voir que cette boucle en ∞ coupe deux fois chaque portion de la courbe des extinctions simultanées; car en passant d'un axe optique de l'anorthite à un axe optique de l'albite par un des deux chemins possibles sur cette courbe, la biréfringence de l'anorthite croît de 0 à un certain maximum et celle de l'albite décroît d'un certain maximum à 0.

Considérons d'abord les intersections qui sont situées sur la portion de courbe pour laquelle on a $2\theta = 0$. Pour ces points, $\mathrm{tg}2\varepsilon$ est indéterminée et par conséquent toutes les courbes E doivent y converger.

En d'autres termes, comme on pouvait le prévoir, il y a égal éclairement total, dans tous les azimuths, pour ces deux pôles remarquables. Dans les plagioclases, l'un d'eux, correspondant aux axes optiques B, est sensiblement situé à l'intersection des coordonnées sphériques suivantes : $\lambda = -25°$, $\varphi = -31°$; pour l'autre (boucle des axes optiques A), on a, à peu près, $\lambda = +55°$, $\varphi = -54°$.

Les deux autres points d'intersection, pour $B_1 = B_2$ et $2\varphi = \frac{\pi}{2}$,

correspondent à des pôles d'indétermination, non plus pour les valeurs ε d'égal éclairement total, mais bien pour les angles ε' d'éclairement commun réduit aux parties juxtaposées et non superposées.

Les courbes E doivent encore converger vers les pôles g^1 (010), mais ici l'apparente indétermination tient à celle de la trace de g^1 (010) sur g^1 (010) lui-même. En réalité les directions d'égal éclairement total sont parfaitement définies dans la section g^1(010); pour les plagioclases, l'une d'elles fait + 37° avec la trace de p (001), dans le sens de Max Schuster, l'autre — 53°.

Une fois l'épure tracée, les applications théoriques s'en déduisent aisément ; car il est facile d'enregistrer la variation des angles d'égal éclairement total, le long des zones les plus importantes ou dans les sections les plus utiles, telles que celles qui sont perpendiculaires aux axes principaux d'élasticité ou aux axes optiques. D'une façon générale, l'éclairement commun permet souvent d'orienter une section de plagioclase dans les plaques minces.

Intensité lumineuse de l'éclairement commun. — On peut ajouter, aux données fournies par l'angle E, une notion de l'intensité lumineuse présentée par les plages considérées au moment de l'égal éclairement total. La valeur de cette intensité est proportionnelle à $B^2_1 \sin^2 2(E - \alpha) = B^2_2 \sin^2 2(E - \beta)$; l'intensité peut être mesurée par une biréfringence ; l'expression $b = B_1 \sin 2(E - \alpha)$, pour chaque point des courbes E, donnera donc la possibilité d'assimiler l'intensité lumineuse des éclairements communs à l'intensité lumineuse maxima des sections de la même plaque mince ayant une biréfringence b.

Dans l'épure, planche IX, d'éclairement commun de l'albite et de l'anorthite, les courbes d'extinction simultanée ont une valeur $b = 0$; le maximum de b ne dépasse pas 0,0065, biréfringence du pôle d'indétermination existant sur la courbe des extinctions simultanées des axes optiques B. Le pôle similaire de la courbe des axes optiques A atteint environ 0,001 au maximum. Il y a quatre aires de maxima autour du pôle d'indétermination de la courbe B ; les maxima absolus sont cantonnés dans deux de ces

aires, qui comprennent la majeure partie de la zone de symétrie, perpendiculaire à g^1 (010), et toutes les bissectrices n_p des plagioclases.

SECTIONS EN ZONES

1° Zone de symétrie de la macle de l'albite, perpendiculaire a g^1 (010); $\varphi = 0$.

Le diagramme Pl. XII rend compte de l'utilisation de l'angle E. pour cette zone. En prenant E toujours plus petit que 45°, l'éclairement commun se produit du côté des extinctions n'_p des feldspaths compris entre l'albite (épure I) et l'oligoclase (épure II). De cet oligoclase à l'anorthite le côté des extinctions n'_p est toujours opposé à celui de l'éclairement commun E.

La courbe E atteint son maximum (44°) pour la coordonnée $\lambda = -70°$, c'est-à-dire à l'opposé des maxima des extinctions qui s'échelonnent de $\lambda = +80°$ à $\lambda = -8°$. Elle passe par le point d'extinction simultanée de la zone pour $\varphi = 0$ et $\lambda = -8°$ à 9°; l'extinction coïncidant avec l'éclairement commun s'y fait à + 1°.

Quand la macle de Carlsbad coexiste avec celle de l'albite, les angles E donnent sans amphibologie les coordonnées $\pm\lambda$ des deux individus maclés suivant la loi de Carlsbad. Le signe $+\lambda$ doit appartenir à l'individu présentant le plus grand angle d'extinction.

La proximité d'une bissectrice négative, visible en lumière convergente, détermine aussi le signe de λ qui est alors nécessairement positif; dans ce cas encore, la valeur de E détermine sans amphibologie λ.

On voit, par ce qui précède, que, théoriquement, l'emploi de l'éclairement commun combiné avec la détermination du maximum d'extinction, supprime toute indécision de diagnostic dans la zone de symétrie. Il permet en outre, dans une section quelconque de cette zone, de décider à première vue s'il existe ou non, dans le plagioclase étudié, un feldspath d'acidité supérieure

à l'oligoclase II à 18 p. 100 d'An.; enfin, dans la plupart des cas, il donne une notion sur la valeur de λ, c'est-à-dire sur la position de la section considérée.

La valeur b (intensité lumineuse des éclairements communs, évaluée en biréfringence) varie, dans cette zone, de 0,0045 pour les maxima d'extinction des feldspaths les plus acides à 0 pour l'anorthite.

2° Zone pg^1 (001) (010) d'allongement des fibres variolitiques

L'éclairement commun reste constamment compris entre + 18° et + 37°; il ne serait donc pas d'un grand secours pour le diagnostic de ces fibres qui, d'ailleurs, ne sont pas zonées. La seule remarque intéressante à faire consiste en ce que cette zone comprend le point singulier d'indétermination des éclairements communs appartenant à la courbe des axes optiques B. Ce point est approximativement à l'intersection des coordonnées $\lambda = -26°$, $\varphi = -30°$ dans l'angle obtus pg^1 (001) (010), à 60° de g^1 (010).

SECTIONS DÉTERMINÉES

1° Sections parallèles a g^1 (010)

L'égal éclairement total, rapporté à la trace de p (001), peut se déduire directement des données suivantes : extinction n'_{ip} pour l'anorthite, — 42°; pour l'albite, + 20°; biréfringence de l'anorthite égale aux 5/10 de sa biréfringence totale 0,012, soit 0,006; même donnée pour l'albite égale aux 44/100 de 0,009, soit 0,004; on a donc :

$$\text{tg } 2\varepsilon = 5 \times \text{tg } 62° \qquad \varepsilon = 42°$$

d'où E (rapporté à la trace p) = + 37°.

Le signe + est pris ici dans le sens de Max Schuster, c'est-à-dire dans l'angle obtus ph^1 (001) (100), du même côté que l'extinction de l'albite.

C'est aussi à ce signe et très approximativement à cette valeur

que conduit l'épure rapportée à la trace g^1 (010). On remarquera en effet qu'il n'y a pas indétermination quant à la trace de g^1 (010) sur g^1 (010), lorsqu'on suit une des zones parallèles à une droite contenue dans ce plan, c'est-à-dire un des méridiens de l'épure. Ceux de ces méridiens qui sont tangents aux courbes E = 0, par exemple, font des angles λ de + 11° et — 79°. Comme la trace de p (001) sur g^1 (010) correspond sensiblement au pôle $\lambda = -26°$, on retombe sur la valeur 37° dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

Ainsi l'éclairement commun permet d'orienter une face g^1 (010), lorsqu'on y connaît seulement la trace du clivage facile p (001); il se produit du côté de cette trace où s'éteignent les feldspaths compris entre l'albite et l'oligoclase III à 28 p. 100 d'An, du côté opposé à l'extinction des feldspaths compris entre cet oligoclase et l'anorthite.

La valeur b de l'éclairement commun, dans la face g^1 (010), est d'environ 0,0022.

2° Sections perpendiculaires a la bissectrice négative n_p

On sait que la trace des bissectrices négatives des plagioclases suit sensiblement celle du plan g^1 (010), de l'albite à l'andésine; puis elle s'en écarte vers la gauche et atteint, pour l'anorthite, les coordonnées $\lambda = +15°$, $\varphi = -32°$. En même temps, l'angle E décroît de — 41° à — 24° sans changer de signe. D'autre part, M. Fouqué a fixé avec une extrême précision les angles d'extinction des diverses sections perpendiculaires à n_p; d'après ses dernières recherches, cet angle varie de — 16° (albite) à + 35° (anorthite), quand on le rapporte à la direction négative, perpendiculaire au plan des axes optiques. L'extinction passe par 0° pour un oligoclase à 18 p. 100 d'An (planche X). Les éclairements communs permettent donc, ici encore, de supprimer toute amphibologie entre les feldspaths plus ou moins acides que cet oligoclase. Par exemple, l'albite et l'andésine à 34 p. 100 d'An. donnent, perpendiculairement à n_p, une extinction à 16° de la trace g^1 (010); comme on n'a, en général, aucun moyen d'orienter la section considérée, le doute subsistera si l'on ne recourt à l'éclairement commun : celui-ci se produit du côté de l'extinction

de l'albite, du côté opposé à l'extinction de l'andésine. En outre, sa valeur absolue diminue en même temps que l'acidité des plagioclases. Il suffit d'un zonage à peine indiqué pour obtenir cette orientation.

La valeur b des éclairements communs des sections perpendiculaires à n_p reste sensiblement constante pour tous les plagioclases et voisine de 0,0044.

3° Sections perpendiculaires a la bissectrice positive n_g

De l'albite à l'oligoclase III (à 28 p. 100 d'An), les sections perpendiculaires à n_g sont trop voisines de g^1 (010) pour que la trace de ce plan puisse être utilisée; c'est à celle du clivage facile p (001) qu'il faut rapporter tout à la fois l'extinction négative (trace du plan des axes), et l'éclairement commun (voir pl. XI) ; pour les feldspaths acides voisins de l'albite, il se produit en sens inverse de l'extinction, au voisinage de 45° ; pour l'oligoclase II (à 18 p. 100 d'An), la section est perpendiculaire à g^1 (010) en même temps qu'à n_g ; nous avons vu que l'éclairement commun doit être à 37° de la trace p (001) du côté de l'extinction de l'albite.

Pour l'oligoclase III et jusqu'au labrador VI (à 60 p. 100 d'An), les traces p (001) et g^1 (010) sont sensiblement parallèles ; l'éclairement commun se fait de nouveau en sens inverse de l'extinction, mais plus près de g^1 (010) ; les angles E doivent, en effet, rester compris entre 30 et 25°.

Les valeurs b varient entre 0,003 et 0,0022.

4° Sections perpendiculaires a l'axe d'élasticité moyenne n_m

L'angle d'éclairement commun (pl. XIII) croît lentement de 4 à 20° pour les feldspaths acides jusqu'à l'oligoclase III ; puis la courbe s'élève brusquement à des valeurs voisines de 45° ; de l'andésine à l'anorthite elle oscille entre 45 et 35°. Les valeurs b subissent également de grandes variations : on trouve 0,0012 pour l'albite ; b passe par un maximum de 0,006 pour l'andésine ;

l'anorthite donne, pour ces sections, un éclairement équivalent à une biréfringence de 0,0026.

5° Sections d'extinction simultanée A

Ici l'éclairement commun coïncide avec l'extinction simultanée ; $b = 0$: il peut donc exister une zone toujours éteinte perpendiculaire à un des axes optiques A ; alors la nature de ce plagioclase toujours éteint est déterminée par l'angle d'extinction simultanée des zones accompagnatrices : cet angle est de + 32° pour l'albite et les feldspaths acides (pl. XIV) ; il passe à 0° pour la bytownite à 67 p. 100 d'anorthite et atteint — 30° pour l'anorthite. La biréfringence maxima des zones successives ne peut dépasser 0,002, ce qui permet de différencier ces sections des suivantes.

6° Sections d'extinction simultanée B

La courbe des extinctions simultanées (pl. XV) part de + 30° pour l'albite, passe à 45° pour un oligoclase encore très acide à 12 p. 100 d'anorthite et décroît ensuite de — 45° à 0° pour une bytownite à 80 p. 100 d'anorthite ; à partir de ce plagioclase, l'extinction reste positive jusqu'à l'anorthite, mais ne dépasse pas 1 à 2°. La biréfringence des zones peut varier de 0 à 0,010.

Dans le cas examiné aux paragraphes 5 et 6, lorsqu'on possède une zone toujours éteinte, c'est-à-dire perpendiculaire à un axe optique, elle jalonne un changement de signe dans le sens de l'extinction simultanée la plus voisine de la trace g^1 (010) : supposons par exemple un plagioclase zoné, allant de l'oligoclase à la bytownite et présentant une zone de labrador à 55 p. 100 d'anorthite, toujours éteinte, perpendiculaire à un axe optique B ; l'extinction simultanée de toutes les zones se fera à — 8° ; elle s'appliquera à la direction négative n'_p de tous les feldspaths plus acides que le labrador, à la direction positive n'_g de tous les feldspaths plus basiques.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTABLISSEMENT DE DIAGRAMMES POUR LES APPLICATIONS PRATIQUES

Les considérations, qui précèdent, suffisent pour expliquer l'intérêt que présente le tracé des courbes d'égal éclairement total, sur des diagrammes qui résument l'étude des principales zones et des principales sections de plagioclases.

Sans doute, les données dont nous sommes partis pour tracer nos épures, sont sujettes à revision et les diagrammes ci-joints n'ont pas la prétention d'être tout à fait exacts. Mais les études détaillées, comme celles de Max Schuster et de M. Fouqué, leur donnent une précision de plus en plus approchée et nous induisent à penser que les déterminations optiques des plagioclases en plaque mince peuvent se faire, dès à présent, à quelques centièmes près d'anorthite.

Dans chaque diagramme [1], l'échelle horizontale porte trois graduations : la première en p. 100 d'anorthite d'après la méthode de Tschermak ; la seconde en p. 100 de silice ; la troisième se réfère à l'ancienne notation des plagioclases et représente la proportion d'oxygène de la silice par rapport à celle des bases. Il est facile de voir que la seconde échelle a son unité dans un rapport sensiblement constant avec celle de la première ; quant à la troisième, son unité croît très vite avec la basicité du plagioclase considéré ; elle donne de bons repères pour les noms anciennement usités.

Les deux premiers diagrammes, que nous avons construits,

[1] Comme dans le 1er fascicule (1) désignera le cristal fondamental, (1') la macle de l'albite, (2) et (2') la macle de Carlsbad et ses lamelles suivant la loi de l'albite.

sont ceux afférents aux sections perpendiculaires aux bissectrices n_g et n_p ; nous avions pour point de départ les données si nombreuses et si précises dues à M. Fouqué, ainsi que les analyses, après purification, dont il a accompagné ses principales monographies. Après ce premier tracé, nous nous sommes rendu compte que nous pouvions combiner le diagramme relatif à n_g avec les extinctions sur g^1 (010), et le diagramme relatif à n_p avec les extinctions maxima de la zone de symétrie.

Sections perpendiculaires a n_g et sections g^1 (010) (Pl. X)

Pour établir le diagramme n_g, nous avons d'abord reporté sur du papier quadrillé toutes les données dont nous sommes redevables à M. Fouqué, et nous avons tracé la courbe médiane du fuseau, très renflé aux abords du labrador, que nous avions ainsi obtenu; il nous a fallu éliminer quelques-unes des observations relatives à des oligoclases qui s'écartent trop de la moyenne. Cette courbe passe à 0° pour un oligoclase à 28 p. 100 d'An [1] et détermine ainsi la place de l'épure fondamentale III, dont les données ont été choisies précisément pour rendre le plan $n_g\, n_m$, perpendiculaire à g^1 (010); en d'autres termes n_p est contenu dans g^1 (010).

Quand on trace, sur le diagramme, la courbe afférente au clivage p (001), rapporté à la trace de g^1 (010), dans toutes les sections perpendiculaires à n_g, on voit cette courbe partir de — 23° pour l'albite, passer à — 90° pour l'oligoclase à 18 p. 100. puis revenir de + 90° à 0° par des valeurs positives entre cet oligoclase et celui à 28 p. 100 d'An. De ce point au labrador à 60 p. 100 la trace p (001) est parallèle à g^1 (010), à 1° près ; la courbe suit donc l'abscisse 0; puis elle s'infléchit vers les valeurs positives et atteint + 23° pour l'anorthite.

Il est nécessaire de rapporter exclusivement à p (001) les extinctions jusqu'à l'oligoclase à 28 p. 100. Nous verrons en effet que, dans l'oligoclase à 18 p. 100, la section perpendiculaire à

[1] Dans ce qui va suivre, le pourcentage des plagioclases sera toujours rapporté à la quantité d'anorthite contenue, en supposant la loi de Tschermak rigoureuse.

n_g se confond sensiblement avec g^1 (010) ; dès lors, à droite et à gauche de ce point, l'intersection avec g^1 (010) doit être trop oblique et trop indécise pour servir de ligne de repère et, tout au contraire, la trace p (001) est facile à utiliser; car ce plan est presque perpendiculaire aux sections considérées.

De l'oligoclase à 28 p. 100 au labrador à 60 p. 100, la courbe, rapportée à p (001), se confond avec celle rapportée à g^1 (010) ; il y a pour ainsi dire raccord ; puis, à partir du labrador à 60 p. 100, la courbe est exclusivement rapportée à la trace g^1 (010).

Il est d'autant plus facile de reporter, sur le diagramme, la courbe des extinctions sur g^1 (010) par rapport à la trace p (001), que, jusqu'à l'andésine à 40 p. 100, cette courbe se confond très sensiblement avec la précédente. Nous avons recouru, pour la tracer, aux données de Max Schuster, modifiées, à partir des andésines, dans le sens d'une augmentation sensible des angles négatifs; nous avons en effet de nombreux exemples d'anorthite, donnant sur g^1 (010) des extinctions de — 41°, — 42°, — 43°.

On a vu, plus haut (page 81) quel est le tracé de la courbe des éclairements communs, pour les sections perpendiculaires à n_g; celui de la face g^1 (010) se fait à + 37° dans le sens positif de Max Schuster, c'est-à-dire du même côté de la trace p (010) que l'extinction de l'albite.

Il est utile de chercher où se fait l'extinction des lamelles maclées suivant la loi de l'albite, dans les sections perpendiculaires à n_g; au voisinage de g^1 (010), la macle de la péricline peut être visible et l'on admet qu'elle est optiquement orientée comme celle de l'albite ; ce postulatum n'est pas tout à fait exact, notamment dans les bytownites et l'anorthite; mais les différences d'extinction sont toujours très minimes. Comme on pouvait le prévoir à priori, les extinctions (1′) se font avec (1), à 1 ou 2° près, de l'albite à l'andésine à 34 p. 100. Puis la courbe (1′) se sépare nettement, passe par un maximum de — 6° vers le labrador à 47 p. 100 et redescend à 0° pour l'anorthite.

Dans les cristaux très zonés, voisins de g^1 (010), l'emploi de la lumière convergente permet souvent de juger de la précision même de l'orientation. Si l'on a affaire à une section orientée rigoureusement suivant g^1 (010), l'oligoclase à 18 p. 100 doit

montrer sa bissectrice n_g sensiblement centrée et s'éteindre à + 7 à 8° de la trace p (001).

Si au contraire, c'est une autre zone qui se montre à peu près centrée pour n_g, son extinction et le signe de cet angle déterminent très approximativement le pôle de la section sur la courbe des pôles n_g tracée dans l'épure VIII (1er fascicule). On peut dès lors apporter aux données, fournies par les autres zones, les corrections nécessaires, et approcher de l'exacte détermination qui est le but auquel tendent tous ces efforts.

La macle suivant p (001) avec axe de rotation pg^1 (001) (010), telle que la présentent les albites d'Ala, les andésines de Saint-Raphaël, etc., offre une précieuse vérification de la position des axes n_g d'un grand nombre de plagioclases (de l'oligoclase au labrador-bytownite), le long du grand cercle perpendiculaire à p (001) et à g^1 (010), ainsi que le montre l'épure fondamentale n° VIII. Dans ces macles, en effet, les deux cristaux, non retournés suivant la loi de l'albite, sont simultanément perpendiculaires à n_g. Pour l'andésine des nouvelles carrières du Petit-Caoux près Saint-Raphaël qui présente fréquemment la macle d'Ala, l'axe n_g est rigoureusement perpendiculaire à pg^1 (001) (010) ; cette andésine correspond à une extinction à — 13°, perpendiculairement à n_g, et le diagramme lui assigne 44 p. 100 d'An.

D'une façon générale, dans la recherche des sections perpendiculaires à n_g, la distance angulaire du même axe dans le cristal maclé permet de juger si l'on a affaire à la macle d'Ala ou à celle de Carlsbad, à moins que l'on ne soit au voisinage de l'oligoclase à 18 p. 100, dans lequel les deux macles remplissent cette condition.

Sections perpendiculaires à n_p et maxima de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) (Pl. XI)

Nous avons suivi le même précédé que pour n_g et nous aurions les mêmes observations à faire au sujet de l'utilisation des résultats fournis par les monographies de M. Fouqué. La courbe moyenne (abstraction faite des anomalies accidentelles) passe

au 0° pour un oligoclase à 18 p. 100 et change ensuite de signe. Ce point de repère jalonne donc la meilleure position de l'épure n° II, dans laquelle précisément le plan des axes a été choisi perpendiculaire au plan g^1 (010) avec n_m contenu dans ce plan. Il résulte des données mêmes de l'épure, que n_g se confond, à 1 ou 2° près, avec le pôle de g^1 (010). Ainsi la section perpendiculaire à n_p s'éteint bien à 0° de la trace g^1 (010), et la section perpendiculaire à n_g se confond avec g^1 (010).

Une fois les courbes n_g et n_p tracées, les épures du 1er fascicule peuvent être assez facilement repérées par rapport aux échelles horizontales : l'albite I, le labrador VI et l'anorthite VII se placent bien et sans objection sur les ordonnées à 2 p. 100; 60 p. 100 et 96 p. 100 d'anorthite. On a vu que l'oligoclase II se repère nécessairement à 18 p. 100 et l'oligoclase III, à 28 p. 100.

L'épure de l'oligoclase II ne donne prise à aucune critique importante; quant à celle de l'oligoclase III, il est évident que le plan des axes devrait en être un peu plus infléchi vers la droite; le maximum de la zone de symétrie doit par là même s'accentuer davantage et passer de 5 à 9 ou 10°.

L'andésine IV se classe convenablement à l'abscisse 34 p. 100. Quant au labrador V, il est aux abords de 47 p. 100 avec des erreurs possibles de 3 à 4° sur le maximum de la zone de symétrie.

Cette mise en place des épures fondamentales atténue, dans la mesure du possible, les erreurs inhérentes à de pareilles moyennes; nous sommes, en dernier lieu, parti des moyennes de M. Fouqué en les interprétant, parce que ce sont les données pratiques qui nous inspirent la plus grande confiance, dans l'état actuel de la science. Mais il n'est pas inutile de signaler que les légères corrections à apporter aux épures n°s III et V en écarteraient les données de celles de M. de Fédorow, par exemple. Il paraît donc préférable, dans une première approximation, de faire une sorte de moyenne entre tous ces résultats et, après avoir placé les épures comme nous l'avons tenté, de s'en servir sans autre correction immédiate.

Pour juxtaposer la courbe des maxima, caractéristiques de la zone de symétrie, à celle des sections perpendiculaires à n_p, il

suffit de jeter un coup d'œil sur les principales épures. Les deux courbes se confondent, à 1° près, de l'albite à l'andésine à 34 p. 100. Puis la courbe des maxima monte plus rapidement que l'autre et reste toujours au-dessus d'elle; elle atteint 38° dans le labrador à 60 p. 100, 52° dans l'anorthite à 96 p. 100, et 90°, avec passage par l'indétermination dans l'anorthite de M. de Fedorow et dans celui de M. Becke; on sait en effet que, d'après ce dernier savant, l'axe optique B de l'anorthite pourrait traverser la trace de g^1 et se trouver sur l'épure à gauche de cette trace.

En partant des données des épures, on a tracé, sur le diagramme planche XI, les courbes suivantes toutes rapportées à la trace de g^1 (010) : direction du clivage p (001); direction approximative de la macle de la péricline ; éclairement commun dans les sections perpendiculaires à n_p ; éclairement commun dans les sections à extinction maxima de la zone de symétrie ; extinction de la lamelle (1') (macle de l'albite) dans les sections perpendiculaires à n_p ; extinction de la lamelle (2') (macle de Carlsbad) dans les maxima de la zone de symétrie.

Sur les deux premières courbes, clivage p, macle de la péricline, nous remarquerons que l'extinction négative des sections perpendiculaires à n_p se fait toujours, à partir de l'oligoclase à 18 p. 100, dans l'angle aigu fait par g^1 (010) et ces directions, en s'éloignant de g^1 (010) et se rapprochant de p (001) à mesure que les plagioclases deviennent plus basiques.

Les éclairements communs donnent un moyen précieux d'orienter les sections perpendiculaires à n_p ou à g^1 (010); nous avons insisté sur cette propriété, pages 78 et 80.

Avec les maxima de la zone de symétrie, les extinctions (2') (macle de Carlsbad) donnent aussi un moyen d'orientation sur lequel nous avons fourni les détails nécessaires dans le 1er fascicule ; extinction à peu près simultanée de (1) et de (2') dans la série acide jusqu'à l'oligoclase à 18 p. 100 ; différence atteignant 10° dans les andésines, 16° dans les labradors, 45° dans les anorthites.

La macle de l'albite (1') se comporte dans la série acide des sections perpendiculaires à n_p, comme si elles appartenaient à la

zone de symétrie. La dissymétrie s'accuse dans le labrador à 47 p. 100 par une différence de 3 à 4° ; dans celui à 60 p. 100, cette différence atteint 17° et la macle (1') s'éteint à — 48° tandis que (1) s'éteint à + 31° ; elle va croissant jusqu'à l'anorthite.

Sections perpendiculaires a g^1 (010), zone de symétrie de la macle de l'albite (Pl. XII)

Le diagramme de la planche XII reproduit les principales particularités de cette zone si importante et si facile à reconnaître dans les plagioclases. Les courbes ont été obtenues par interpolation. Les deux principales additions qui le distinguent des diagrammes similaires que nous avons déjà publiés, sont d'une part la courbe de l'éclairement commun, d'autre part celles des anorthites de M. de Fedorow et de M. Becke. Nous y avons en outre ajouté une notion sur la biréfringence absolue des sections correspondant au maximum de l'extinction et sur la biréfringence relative des éclairements communs.

L'éclairement commun permet de vérifier, dans une section quelconque de la zone, s'il existe des feldspaths plus ou moins acides que l'oligoclase à 18 p. 100 ; cette propriété, précieuse au point de vue pratique, a été développée page 78 ; elle se déduit du reste de la simple inspection du diagramme, planche XII.

La biréfringence des sections au maximum d'extinction peut rendre de réels services au voisinage de l'anorthite et entre l'andésine et l'albite ; elle passe pratiquement par l'indécision aux abords de l'oligoclase à 18 p. 100.

Dans toute la série acide, la distance angulaire des bissectrices n_p du cristal (1) et du cristal (1') peut aussi donner des mesures intéressantes, analogues à celles que M. Becke a proposé d'employer dans la série basique pour mesurer la distance angulaire à laquelle les axes optiques B de (1) et de (1') percent le champ du microscope. A vrai dire, cette élongation est presque nulle et varie peu de l'albite à l'oligoclase à 28 p. 100. Mais entre cet oligoclase et le labrador, la méthode est d'autant plus facile à appliquer que. d'une part, la distance entre les deux bissectrices

(1) et (1') croît rapidement, d'autre part leur trace s'obtient facilement en formant la croix noire et ne nécessite pas des opérations aussi compliquées que le repérage d'un axe optique.

En tout cas, l'emploi de la lumière convergente, de l'éclairement commun, de la macle de Carlsbad, permet d'orienter le plus souvent les sections et de déterminer approximativement le signe et la valeur de la coordonnée sphérique λ à laquelle on a affaire.

Sections perpendiculaires a n_m (Pl. XIII)

Ces sections, reconnaissables à leur biréfringence maximum et à leur image en lumière convergente, peuvent donner quelques indications utiles ; les courbes, reportées sur la planche XIII, s'expliquent d'elles-mêmes et n'ont pas besoin d'un commentaire détaillé.

Sections perpendiculaires aux axes optiques A (Pl. XIV).

Nous avons réuni, sur un même diagramme : les extinctions simultanées E des diverses zones; l'orientation du plan des axes optiques déterminée au moyen de la loupe de Klein dans la zone constamment éteinte et perpendiculaire à un axe A ; l'extinction des lamelles (1') maclées suivant la loi de l'albite avec le plagioclase (1) perpendiculaire à un axe A; la biréfringence B' de ces lamelles en centièmes, enfin l'angle que fait la trace du clivage p (001) avec g^1 (010).

Ces diverses données, jointes à la faible biréfringence de toutes les zones, permettent de distinguer facilement les axes A des axes B et donnent le plus souvent un diagnostic approché des sections étudiées.

Sections perpendiculaires aux axes optiques B (Pl. XV)

Les mêmes données ont été utilisées pour l'étude des axes optiques B; elles sont susceptibles d'une plus grande précision. Il est important de distinguer, dans les sections perpendiculaires

à A et B, les lamelles maclées suivant la loi de l'albite de celles qui suivent la loi de la péricline.

Lorsque le clivage p (001) est visible, cette distinction peut se faire facilement ; sinon les angles respectifs A ou B, E, (1′) suffisent en général pour permettre d'utiliser les diagrammes sans amphibologie.

INDICES PRINCIPAUX ET ANGLE 2V DES AXES OPTIQUES (Pl. XVI)

La planche XVI représente la moyenne des nombreuses déterminations d'indices principaux des feldspaths que nous avons pu relever dans le cours de ces dernières années ; nous avons notamment utilisé celles que l'on doit à M. Fouqué et nous avons tenu compte des trois passages par 90° de l'angle 2V, bien nettement établis actuellement, quoiqu'ils ne paraissent pas s'accorder théoriquement avec l'hypothèse de Tschermak (note de M. Wallerant, *C. R.* décembre 1895). L'application du procédé Becke et la recherche des biréfringences des plagioclases intermédiaires sont facilitées par l'emploi de ce diagramme.

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DÉTAILLÉE DE QUELQUES EXEMPLES

Nous avons appliqué les diagrammes précédents à l'étude d'un grand nombre de sections feldspathiques, que nous avons pu ainsi déterminer avec précision. Ainsi nous avons constaté la présence de l'albite en grands cristaux et en microlites dans les albitophyres du Bégon près d'Entrammes (Mayenne) ; de l'albite en grands cristaux dans la Kersantite du Farquet (Chablais), dans le porphyroïde du gîte numéro 7 de M. Gosselet (Ardenne), dans un grand nombre de granulites, à Montebras, etc.

L'albite est également associé, comme zone extérieure, à l'oligoclase dans un certain nombre de granites à mica noir du Plateau Central. Les divers gisements de porphyre bleu de Saint-Raphael présentent de magnifiques associations oscillant entre l'andésine à 35 p. 100 d'An. et le labrador à 60 p. 100, et sur lesquelles je compte revenir en détail dans une monographie de la région. Mais les plus belles roches, pour l'étude des zones, sont fournies par les granites à amphibole (Saint-Léon, Allier ; Vaugneray, Lyonnais, etc.), les diorites et les diabases quartzifères. Et parmi ces dernières, je dois citer en première ligne les belles roches de la Grande Galite que j'ai pu récemment étudier, grâce à l'obligeance de M. Vélain. La variation extraordinaire des plagioclases qui comportent des zones d'oligoclase-albite, d'oligoclase, de labrador et de bytownite, parfois interverties entre elles [1], en fait une série classique pour l'étude des éclairements communs.

[1] Comptes rendus Ac. Sc., 22 juillet 1895.

C'est parmi ces roches que j'ai choisi les quelques exemples dont on trouvera des photographies planche XIX à XXI.

Face g^1 (010)

Planche XIX, photographies 1, 2, 3 et figure 10. Grande Galite, filon noir.

C'est une roche granulitique, composée de fer oxydulé ; mica noir ; hornblende brune en partie verdie et même chloritisée, plus abondante que le mica noir; plagioclase extraordinairement zoné; orthose et quartz granulitique jouant le rôle de ciment des autres éléments.

Fig. 10.

L'orthose se différencie assez facilement des autres feldspaths même non maclés, par son état moins adulaire ; il est traversé par d'innombrables petites veinules parfois remplies de quartz et toujours jalonnées par de fines granulations. Quand on rencontre une section g^1 (010), perpendiculaire à n_g, les veinules se montrent voisines de la direction positive d'extinction ; elles paraissent donc parallèles à h^1 (100), comme les filonnets d'albite dans le microcline.

Cette granulite à amphibole a pour formule :

$$\Gamma_\beta \ . \ . \ . \ F_1 \, MA_3 \, t_{1-3} \, o_1 \, q$$

Les plagioclases parcourent presque toute la gamme, de la bytownite à l'oligoclase acide, avec cette curieuse particularité que, souvent, la bytownite y constitue une zone intermédiaire, assez brusquement tranchée, et qui a été précédée par du labrador beaucoup plus acide. En outre, les oligoclases de bordure ont joué un rôle corrosif et se présentent souvent en facules dans le centre même du cristal de plagioclase. Ces cristaux se sont visi-

blement accrus au sein d'un magma immobile. Leurs dernières zones d'accroissement sont antérieures à la consolidation de l'orthose et du quartz. Grâce à la fraîcheur relative de la roche, on peut facilement appliquer le procédé Becke à ces contacts : l'orthose se montre beaucoup moins réfringent que les oligoclases de bordure. Quant au quartz, il faut traiter à part chaque cristal de plagioclase ; car ils ne se sont pas tous nourris de la même façon. Dans l'exemple que nous étudions, il y a en haut à gauche un bon contact entre un quartz (q) parallèle à son n_g^q et la face g^1 (010) *croisée* de l'oligoclase de bordure, contenant par conséquent à peu près n_p^o et n_m^o. On a nettement :

$$n_g^q > n_p^o \qquad \text{et} \qquad n_p^q > n_m^o$$

Mais n_p^q est visiblement très voisin de n_m^o. C'est donc au-dessous de 22 p. 100, mais très près de cette teneur en anorthite qu'il faut ranger ici l'oligoclase de bordure (voir pl. XVI).

Le profil de la face voisine de g^1 (010), que nous étudions, montre avec évidence une macle de Carlsbad et, dans chaque cristal composant, les faces p, $a^{1/2}$, m ou t.

Les angles plans, mesurés au microscope, donnent :

Traces $pp' = 53° 30'$
Profil $mp = 116°$
— $pa^{\frac{1}{2}} = 98°$

Nous avons distingué quatre zones principales dont les photographies rendent bien compte :

a) Zone extérieure de plus en plus acide vers la périphérie, à passages très ménagés.

b) Passage assez brusque de *a* à *b ;* dans *b* passages très ménagés du plus acide au moins acide vers le centre.

b est éteint dans la photographie 1.

c) Passage très brusque de *b* à *c*. La réfringence varie assez brusquement pour permettre des réflexions totales ;

c est éteint dans la photographie 2, pour le cristal II ; au con-

traire, dans le cristal I, c'est la bordure la plus acide de *b* qui subit l'extinction.

d) Puis vient le cœur du plagioclase, composé de feldspath *b*, faculé de feldspath acide *d*.

Voici les extinctions relevées au microscope, en tenant compte du signe qui peut être déterminé soit au moyen de l'angle *mp*, soit par la méthode de l'éclairement commun. Elles sont rapportées aux traces *p* (001).

Cristal I (voir fig. 1)

a (extrême bordure)	+ 9		
b moyenne	— 19	E pour les zones *ab*	+ 31°
c —	— 32	— — *bc*	+ 35°
d —	+ 3		

Cristal II

a (extrême bordure)	+ 4		
b moyenne	— 24	E pour les zones *ab*	+ 33°
c —	— 36	— — *bc*	+ 36°
d —	0		

Les facules *d* des deux cristaux I et II sont à peu près perpendiculaires aux bissectrices n_g ; mais l'image est encore mieux centrée sur les bordures extrêmes *a*.

Pour compenser, autant que possible, l'erreur d'orientation sur g^1 (010) qui n'atteint certainement pas 5°, il convient de prendre la moyenne des valeurs obtenues :

a (extrême bordure)	+ 6° 30′	20 °/₀ An
b moyenne	— 21° 30′	54 °/₀
c —	— 32°	70 °/₀
d —	+ 1° 30′	26 °/₀
E pour les zones *ab*	+ 32°	
— — *bc*	+ 35° 30′	

En recourant à la planche X [extinctions sur g^1 (010)], on en déduit les teneurs spécifiées en anorthite. On remarquera avec quelle précision le procédé Becke vérifie la nature de la bordure *a*.

La photographie 1 (pl. XIX) montre le cristal dans la position d'égal éclairement total de la macle de Carlsbad, le polariseur étant à 45° de la bissectrice des clivages *p* (001). Dès lors les

zones de même nature des deux cristaux I et II se montrent teintées de même. La bissectrice des clivages p (001) est, ici, à + 26° 45′ de chacun d'eux ; les plans principaux du polariseur et de l'analyseur sont donc à — 18° 15′ des traces p (001) ; la bande toujours éteinte tombe dans la zone b et correspond à un labrador à 50 p. 100, dans les deux cristaux I et II.

La photographie 2 (pl. XIX) correspond, pour le cristal II à l'extinction de la bytownite c (polariseur à — 34°). L'analyseur est donc à — 2° 30′ de la trace p du cristal I, et la partie éteinte sépare précisément la zone b de la zone a; c'est un oligoclase à 32 p. 100.

La photographie 3 (pl. XIX) montre l'éclairement commun du cristal II ; le polariseur a été placé à environ + 34° de p (001). Le cristal I est donc à environ 14° 30′ de sa position d'éclairement commun ; on y voit nettement les feldspaths plus acides former tache à côté des feldspaths plus basiques moins éteints.

Zone de symétrie perpendiculaire a g^1 (010)

La planche XX, photographies 1, 2, 3, et la figure 11 représentent une section de la zone de symétrie d'un plagioclase très zoné, appartenant à une granulite à amphibole de la Grande Galite. Il y a, en plus des minéraux cités dans l'exemple précédent, de l'épidote secondaire qui communique à la roche une teinte verte.

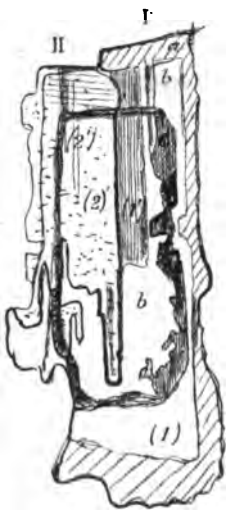


Fig. 11.

Les macles de l'albite et de Carlsbad existent simultanément ; le cristal II présente en outre la macle de la péricline, dont la trace fait 85° 30′ avec g^1 (010) et est très sensiblement parallèle au clivage p (001).

Une série de zones traverse ce tout complexe en s'emboîtant ; elles rappellent entièrement les zones du cristal (Pl. XIX) : il y a une série continue d'oligoclases (a) ; des andésines et des

labradors en (*b*) et, au milieu de ces derniers, une mince bande (*c*) de bytownite.

Voici les angles d'extinction et d'éclairement commun, relevés soigneusement au microscope.

	Cristal I (1)	Cristal I (1')
a) partie extérieure	+ 1°	— 1°
Passages insensibles à (*b*).		
b) moyenne	— 18°	+ 18°
c) —	— 26	+ 26
Eclairement commun *ab*	+ 44	»
— — *bc*	+ 40	»

	Cristal II (2')	Cristal II (2)
a) (moins développé)	0°	0°
b) —	— 28	+ 27
c) —	— 38	+ 38
Eclairement commun *bc*	+ 34	

La lumière convergente montre, dans le champ de l'objectif à immersion (ancien n° 7 de Nachet), n_p pour toutes les zones (*a*) et (*b*) du cristal II. Cette bissectrice paraît à peu près centrée pour la partie de la zone *a* qui s'éteint à — 13°.

Il est facile de déduire, de ces diverses propriétés et de l'examen des planches XI et XII, que le cristal n° I est situé, sur $\varphi = 0$, à $\lambda = -64°$ environ; et le cristal n° II à + 64°.

On en conclut que :

a) correspond à	17 à 18 °/₀ d'Anorthite
b) —	45 à 50 °/₀ —
c) —	70 °/₀

La photographie n° 1 (Pl. XX) correspond à l'extinction de la zone *a*) la plus extérieure du cristal n° I; le polariseur fait + 1° avec g^1 (010). Cette même zone est à peu près éteinte dans le cristal II.

Dans la photographie n° 2 (Pl. XX), le polariseur fait — 26° avec g^1 (010); la bande (*c*) de bytownite du cristal (1) est éteinte; en même temps la bande *b* du cristal (2') arrive à peu près à l'extinction.

La photographie n° 3 (Pl. XX) montre l'éclairement commun des zones *b* et *c* du cristal (1). La zone (*a*) la plus extérieure en bas à droite est un peu plus éteinte. Le polariseur est à + 40° de *g*' (010). Dès lors, dans le cristal (2) la bande (*c*) est voisine de son extinction.

Section perpendiculaire a un axe optique B

La planche XXI, photographies 1 et 2, et la figure 12 donnent un exemple d'une pareille section, étudiée dans une plaque de la granulite verte de la Grande Galite. Seulement le cristal, beaucoup plus grossi que précédemment (50 diamètres au lieu de 20), s'est développé moins longtemps et n'a pas une bordure aussi acide que le précédent ; il possède un cœur en bytownite, une bande de labrador acide toujours éteinte et perpendiculaire à un axe B, enfin une zone externe d'andésine, passant insensiblement au labrador, tandis que la bytownite tranche brusquement sur ce dernier. Les macles de l'albite (1') et de Carlsbad (2) sont bien nettes.

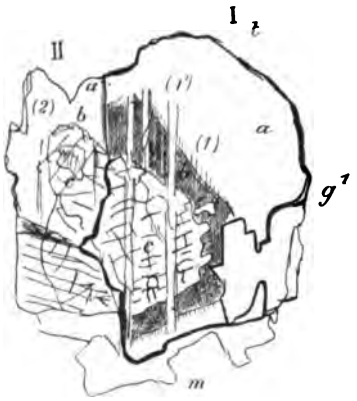


Fig. 12.

Le profil, surtout bien dessiné par la zone toujours éteinte, montre la trace des faces *g*' (010), *m* (110), *t* ($\bar{1}10$).

Pour déterminer le pôle de la section, il nous suffit d'étudier d'abord la zone *b* ;

Extinction simultanée :

E_a des zones (*a*) les plus extérieures. . . . . — 13° 30'

E_c de la zone (*c*) et des zones (*a*) les plus intérieures. — 11°

E_a se rapporte à la direction négative n'_p des oligoclases ; E_c à la direction positive n''_g de la bytownite.

La valeur E est prise avec le signe négatif, sans amphibologie ; car, eu égard à la forte biréfringence de la partie extérieure de la zone (*a*), on a affaire à coup sûr à la courbe des axes optiques B

et cette courbe ne passe pas, dans sa partie où naissent des axes optiques de plagioclases intermédiaires, par d'aussi petites valeurs positives. Si nous choisissons la valeur $E_c = -11°$, le pôle cherché de la section considérée se trouve environ à $\lambda = +25°$ et $\varphi = +35°$ et correspond sensiblement à un labrador acide à 49 p. 100 d'anorthite ; pour $E_a = -13° 30'$, il faudrait descendre à 46 p. 100 (Pl. XV).

Diverses vérifications peuvent d'abord être obtenues dans la même zone *b* : le plan des axes optiques, repéré en lumière convergente, par rapport à la trace g^1 (100) au moyen de la loupe de Klein, est à — 56°. En outre les lamelles (1') donnent, au passage de cette zone toujours éteinte, une extinction à — 25° 30'. Le diagramme, planche XV, montre que ces données correspondent à un labrador à 45 p. 100.

Ainsi donc, l'étude de la zone *b* fixe, à 4 p. 100 près d'anorthite, la composition du plagioclase de cette zone et donne en outre les coordonnées sphériques du pôle de la section.

Dès lors nous pouvons aborder l'étude des zones (*a*) et (*c*) en comparant leurs extinctions à celles des épures des principaux plagioclases pour le même pôle. Ces extinctions sont rapportées, comme toujours, à n'_p.

Cristal I	(1)	(1')
Zone extérieure (*a*)	— 13° 30'	— 22°
Zone (*c*)	+ 79°	— 30°
Cristal II	**(2)**	
Zone (*a*).	+ 2°	»
Zone (*b*).	+ 1°	»
Zone (*c*). . . .	0°	»

Voici, comme termes de comparaison, les données des épures générales, pour le pôle en question et ses conjugués :

	(1)	(1')	(2)
Epure IV ; andésine à 34 °/₀.	— 15°	— 24°	+ 3°
Epure VI ; labrador bytownite à 60 °/₀ .	+ 79°	— 28°	+ 0°
Epure VII ; anorthite à 96 °/₀.	+ 75°	— 39°	+ 3°

La zone (*a*) est un peu plus acide que l'andésine à 34 p. 100, tout au moins dans sa partie externe. La zone (*c*) est un peu plus basique que la bytownite à 60 p. 100.

La photographie 2 (Pl. XXI) représente le cristal dans la position de l'extinction simultanée des zones acides (*a* et *b*); le polariseur est à — 13°30′ de la trace g^1 (010); l'angle pg^1 (001) (010) obtus est donc à gauche de l'observateur, ce que confirment d'ailleurs les profils *m* et *t*. La section est voisine de la face $c^{\frac{1}{2}}$.

La photographie 1 (Pl. XXI) représente le même cristal à peu près à 45° de l'extinction simultanée; le polariseur est à environ + 30° de g^1 (010). On remarquera que, dans cette position, les cristaux (1) doivent être à leur maximum de biréfringence. Ce maximum est naturellement 0 pour la zone (*b*) toujours éteinte. D'après les épures générales, il serait de :

0,00 84$_{(c)}$ pour l'anorthite.
0,00 22 pour le labrador bytownite à 60 °/₀.
0,00 15$_{(a)}$ pour l'andésine à 34 °/₀.
0,00 37 pour l'oligoclase à 28 °/₀.

En réalité la biréfringence de (*a*) est sensiblement la même que celle de (*c*); les réflexions totales assombrissent la bytownite sur la photographie.

Les exemples qui précèdent montrent la sensibilité des procédés optiques qui peuvent désormais être appliqués au diagnostic des plagioclases. Parmi ces procédés, l'emploi des éclairements communs est certainement un des moyens les plus efficaces pour orienter les sections étudiées. Quand on pense qu'il s'agit de déceler en plaque mince une dissymétrie géométrique aussi peu sensible que la détermination de l'angle obtus et de l'angle aigu pg^1 (001) (010), on est porté à penser que l'emploi de l'éclairement commun se répandra rapidement, malgré ses quelques incertitudes.

Encore convient-il de remarquer que, parmi ces incertitudes, il en existe une qui a une portée théorique : les quelques degrés de différence que nous avons signalés entre les éclairements communs ou les extinctions simultanées des zones acides et basiques, paraissent prouver en effet que tout ne se passe pas au point de vue optique, comme si les plagioclases intermédiaires étaient de simples mélanges d'albite et d'anorthite. Comme pour la plupart des lois naturelles, nous aboutissons à une première approximation et non à la vérification d'une loi mathématique.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU MICROCLINE

Les nouvelles méthodes graphiques, pour l'étude des propriétés optiques, peuvent s'appliquer au microcline : M. de Cloizeaux[1] a déterminé avec une telle précision les constantes optiques de ce feldspath que l'épure fondamentale (Pl. XVII) peut être tracée sans difficulté.

Voici les principales données de l'épure, comparées à celles de M. Des Cloizeaux :

	g^1 (010)	p (001)	
n_p fait avec les pôles. . . .	»	96°	Dx.
	73°	95°	Epure
n_g fait avec les pôles. . . .	17° 45′	81° 30′	Dx.
	18°	81°	Epure
$2V =$	83° 42′ (moyenne)		Dx.
	84°		Epure

Vérifications. — D'après M. Des Cloizeaux, n_p fait 6° avec l'intersection de p (001) et du plan principal $n_p\, n_m$ d'avant en arrière; n_g fait 9° avec l'intersection de p (001) et du plan principal $n_g\, n_m$ de droite à gauche. L'épure donne les mêmes résultats.

L'extinction doit se faire (épure) et se fait (Dx) sur p (001) à + 16° et sur g^1 (010) à + 5° de pg^1 (001) (010), en prenant les signes de Max Schuster.

Avant d'aborder l'étude des sections perpendiculaires aux bissectrices, il convient de fixer la position du plan d'assemblage de la macle perpendiculaire à g^1 (010), analogue à celle de la péri-

[1] Des Cloizeaux. *Ann. de Chimie et de Physique*, t. IX, 1876.

cline et dont on voit encore la trace sur les sections voisines de g^1 (010). D'après M. Des Cloizeaux, cette trace fait 99° avec p (001) et 17° avec h^1 (100) et se trouve par conséquent dans l'angle obtus ph^1 (001) (100). Les filonnets d'albite se rapprochent de h^1 (100).

Voici maintenant les données fournies par l'épure, pour les sections perpendiculaires aux bissectrices ; perpendiculairement à n_g, on a :

	AVEC LA TRACE g^1 (010) (épure)	AVEC LA TRACE p (001)	
		épure	microcline de Oui (Oural)
Plan des axes (n_p). . . . . / Microcline (1). . . . . \	+ 66°	+ 6°	+ 7°
Trace p (001).	+ 60°	0°	0°
Macle de la péricline	— 22°	— 82°	— 80°
Filonnets d'albite (direction parallèle à h^1 (100).	— 12°	— 72°	— 72°
Extinction du microcline (1'). . .	+ 55°	— 5°	+ 2°
Eclairement commun (1) et (1'). .	— 8°	+ 22	+ 22°

Perpendiculairement à n_p, les épures du microcline et de l'albite donnent :

	AVEC LA TRACE g^1 (010)			
	ÉPURE		MICROCLINE DE OUI (Oural)	
	Perpendiculairem. à n_p	$\lambda = +68°$ $\varphi = +5°$		
Extinction (1) du microcline suivant n_m	+ 7°	»	+ 3°	Recouvrements bien centrés.
Microcline (1)	»	+ 9°	+ 9°	Lamelles mal centrées.
Microcline (1').	— 19°	— 12°	— 14°	
Filonnets d'albite . . . . { lamelles (1).	— 17°30'	— 15°30'	— 15°30'	
{ lamelles (1').	— 14°	— 14°	— 14°	
Eclairement commun (1) et (1') { de l'albite. .	— 44°	45°	45°	
{ du microcline	+ 18°	+ 35°	+ 35°	
Trace p (001)	+ 87°	+ 89°	+ 89°	

La comparaison avec les données fournies par l'observation

directe, est très difficile, parce que la structure complexe du microcline fausse entièrement, en général, les données de la lumière convergente ; il faut opérer en plaque très mince et ne s'adresser qu'à des types exceptionnels, à lamelles aussi larges que possible. Un microcline de Oui (Oural) dont M. Fouqué a bien voulu me confier l'étude, m'a seul fourni, parmi de nombreuses plaques, quelques données un peu nettes dans les sections perpendiculaires aux bissectrices. Ce sont ces données, relevées au microscope, qui figurent, comme termes de comparaison, à côté de celles de l'épure. En outre, au point de vue des éclairements communs, on est près du pôle d'indétermination.

Pour n_g, les correspondances sont satisfaisantes. Les plaques sont d'ailleurs bien centrées en lumière convergente et présentent des plages d'apparence homogène, assez étendues.

Pour n_p, la taille n'est pas perpendiculaire à la bissectrice des lamelles (1), mais bien à celle d'un mélange de (1) et (1'). On peut même, au moyen des extinctions des lamelles d'albite, se rendre un compte approximatif des pôles des lamelles (1) et (1') de microcline ; ces pôles seraient à l'intersection des coordonnées sphériques $\lambda = + 68°$, $\varphi = \pm 5$. Les données de la deuxième colonne du tableau ont été relevées, pour ces pôles, sur les épures de l'albite et du microcline. Elles procurent une vérification satisfaisante de l'hypothèse ainsi faite, d'ailleurs corroborée par la position excentrée de n_p dans les lamelles (1) pures du microcline.

Ces diverses constatations permettent de vérifier l'extrême exactitude des données optiques dues à M. Des Cloizeaux et de considérer l'épure planche XVII comme représentant convenablement les propriétés du microcline.

Perpendiculairement à n_m, l'extinction se fait à $+ 15°$.

Perpendiculairement aux axes optiques, on relève les données suivantes :

	PLAN des axes.	(1')	(2)	(2')
A	— 81°	— 7°	+ 29°	+ 1°
B	— 75°	— 77°	— 13°	— 40°

La zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) passe à 0° pour $\lambda = + 80°$; elle se relève rapidement et atteint le maximum de + 19° pour $\lambda = + 30°$. Le diagramme ci-joint (fig. 13) montre avec évidence que la lamelle (1) présente de très nombreuses extinctions entre 15 et 19°. Quant à la lamelle (2) de la macle de Carlsbad on voit qu'entre $\lambda = - 65°$ et + 65° elle s'éteint simultanément

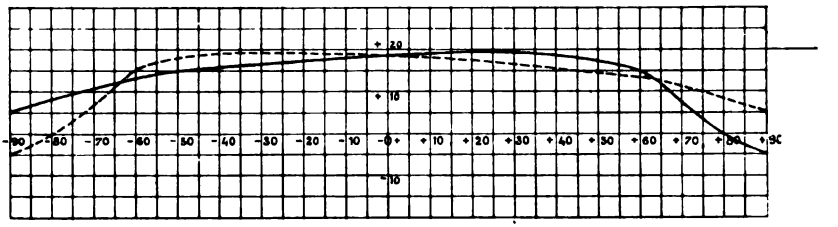


Fig. 13.

avec la lamelle (1) à 2° près. C'est une propriété analogue à celle de l'albite et que M. Lacroix a eu l'occasion de vérifier pratiquement. Comme (1') s'éteint aussi avec (2'), elle peut masquer l'existence de la macle de Carlsbad.

L'égal éclairement total de la macle de l'albite s'applique rigoureusement aussi à la macle perpendiculaire à g^1 (010), analogue à celle de la péricline des plagioclases. Le cristal entier de microcline paraît uniforme et ne laisse plus distinguer que les filonnets d'albite, à la condition que la plaque soit très mince.

Nous avons représenté (pl. XVIII) les données principales de cet éclairement commun ; toutes les courbes E convergent vers les pôles de g^1 (010) et vers un pôle situé sur la trace de g^1 (010) pour $\varphi = 0$ et $\lambda = + 80°$, à 7° seulement de celui de la macle analogue au péricline.

Il est facile de voir que, grâce à cette coïncidence, les courbes qui figurent les angles que fait cette macle avec la trace de g^1 (010), suivent de près les courbes E mais avec des valeurs doubles de l'angle : ainsi les courbes 0° coïncident à 5° près, les courbes E = 45° suivent à 2° près les grands cercles suivant lesquels la macle analogue à la péricline est à 90° de g^1 (010) ; etc. En d'autres termes, l'égal éclairement total se fait toujours à peu

près suivant les bissectrices du réseau quadrillé du microcline, quel que soit son angle. C'est une propriété intéressante et qui se vérifie facilement dans les granulites à microcline dont les sections se présentent dans toutes les orientations possibles. Citons aussi comme commodes pour cette vérification les leptynites du Plateau Central.

L'éclairement commun passe par un maximum d'intensité lumineuse pour $\varphi = 0$ et $\lambda = -20°$, au voisinage et à environ 5° du pôle de p (001). Les formules précédemment données (p. 77) permettent de calculer que ce maximum est égal aux 82 centièmes de la biréfringence totale du microcline ; en supposant cette dernière égale à 0,007, on arrive à 0,0057, contre 0,003 sur g^1 (010), et 0,0024 au pôle d'indétermination pour $\lambda = +80°$.

La courbe $b = 0$ des extinctions simultanées passe par les axes optiques et les pôles g^1 (010) ; elle n'est pas éloignée du méridien à + 80°.

Les photographies planche XXI, figures 3 et 4, représentent une section p (001) du microcline de Permacouil près Chandernagor ; dans la figure 3, le polariseur est parallèle à g^1 (010), il en est à 45° dans la figure 4. Nous avons déjà fait remarquer que cette propriété démontre que, abstraction faite des filonnets d'albite, il n'y a que deux corps optiquement différents en présence, qui sont ici le microcline (1) et son retournement (1') suivant la loi de l'albite.

λ = ~~latitude~~ longitude of meridians + λ is above central meridian − λ below

ϕ = latitude + ϕ to right of equator

− ϕ . left " "

EXPLICATION DES PLANCHES

Dans toutes les planches, n_g, n_m, n_p désignent le plus grand, le moyen et le plus petit indice de réfraction ; A et B les axes optiques, B_1 et B_2 les biréfringences ; E l'angle que fait la section principale du polariseur, au moment de l'éclairement commun, avec les traces g^1 (010) ou p (001) ; b l'intensité lumineuse de cet éclairement commun, évalué en biréfringence ; (1) le cristal fondamental, (1') le cristal retourné suivant la macle de l'albite, (2) suivant celle de Carlsbad, (2') les lamelles (2) retournées suivant la loi de l'albite.

Les chiffres romains de I à VII renvoient aux épures fondamentales du 1er fascicule ; I albite ; II oligoclase à 18 p. 100 d'An. ; III oligoclase à 28 p. 100 ; IV andésine à 34 p. 100 ; V labrador à 47 p. 100 ; VI labrador-bytownite à 60 p. 100 ; VII anorthite à 96 p. 100.

Les courbes d'extinctions et d'éclairement commun sont en rouge ; elles jalonnent, sur l'épure stéréographique, le lieu des pôles des sections qui présentent les mêmes angles d'extinction ou d'éclairement commun rapportés à la trace g^1, avec le signe + lorsque l'angle se compte dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de cette trace, et avec le signe — dans le sens opposé.

Les courbes de biréfringence sont estompées en bistre ; sur l'épure du microcline (pl. XVII) elles représentent, en dixièmes de la biréfringence maximum, les pôles des sections ayant 0,25 ; 0,35 ; 0,45 ; 0,55 ; 0,65 ; 0,75 ; 0,85 de ce maximum, quand on part d'un axe optique A ou B où la biréfringence est nulle, pour se diriger vers n_m où la biréfringence est maximum.

Sur les planches IX et XVIII, la biréfringence b est exprimée en millièmes et représente une différence d'indices.

Les autres explications utiles sont mentionnées explicitement sur les épures et les diagrammes.

Les épures stéréographiques sont projetées sur un plan perpendiculaire à $h^1 g^1$ (100) (010), avec le pôle p (001) dans le quadrant inférieur de droite.

Éclairement commun des plagioclases. . . . . Pl. IX
Diagramme des sections perpendiculaires à n_g et à g^1 (010). . . . X
Diagramme des sections perpendiculaires à n_p et maxima d'extinction de la zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) XI
Zone de symétrie perpendiculaire à g^1 (010) ; extinctions, biréfringences et éclairement commun de 10 en 10 p. 100 d'An. XII

Diagramme des sections de biréfringence maxima, perpendiculaires à n_m XIII
Diagramme des sections d'extinction simultanée, perpendiculaires à un axe optique A XIV
Diagramme des sections d'extinction simultanée, perpendiculaires à un axe optique B XV
Diagramme des indices de réfraction et des biréfringence des plagioclases. XVI
Epure fondamentale du microcline. XVII
Éclairement commun de la macle de l'albite, pour le microcline. . XVIII
Photographies d'un plagioclase zoné de la Grande Galite, section g^1 (010). Grossissement : 20 diamètres. P polariseur, A analyseur. XIX
— section de la zone de symétrie. XX
— section perpendiculaire à un axe optique B ; grossissement 50 diamètres XXI

TABLE DES MATIÈRES

Éclairement commun des plagioclases 71

Considérations théoriques. 71
Courbe des pôles d'égale biréfringence de l'albite et de l'anorthite. . . . 76
Intensité lumineuse de l'éclairement commun. 77
Sections en zone ; zone de symétrie perpendiculaire à g^1. 78
— — zone $p\,g^1$. 79
Sections déterminées ; sections parallèles à g^1. 79
— — sections perpendiculaires à n_p 80
— — sections perpendiculaires à n_g 81
— — sections perpendiculaires à n_m. 81
— — sections perpendiculaires à l'axe optique A. . . 82
— — sections perpendiculaires à l'axe optique B. . . 82

Diagrammes pour les applications pratiques 83

Sections perpendiculaires à n_g et sections g^1 (Pl. X) 84
Sections perpendiculaires à n_p et maxima de la zone de symétrie perpendiculaires à g^1 (Pl. XI) 86
Sections perpendiculaires à g^1 (zone de symétrie, Pl. XII) 89
— — à n_m (Pl. XIII) 90
— — aux axes optiques A (Pl. XIV) 90
— — aux axes optiques B (Pl. XV). 90
Indices principaux et angle 2 V des axes optiques (Pl. XVI). 91
Étude détaillée de quelques exemples 92
Section parallèle à g^1 (Grande Galite, Pl. XIX). 93
Zone de symétrie (Grande Galite, Pl. XX). 96
Section perpendiculaire à un axe optique B (Grande Galite, Pl. XXI) . . 98

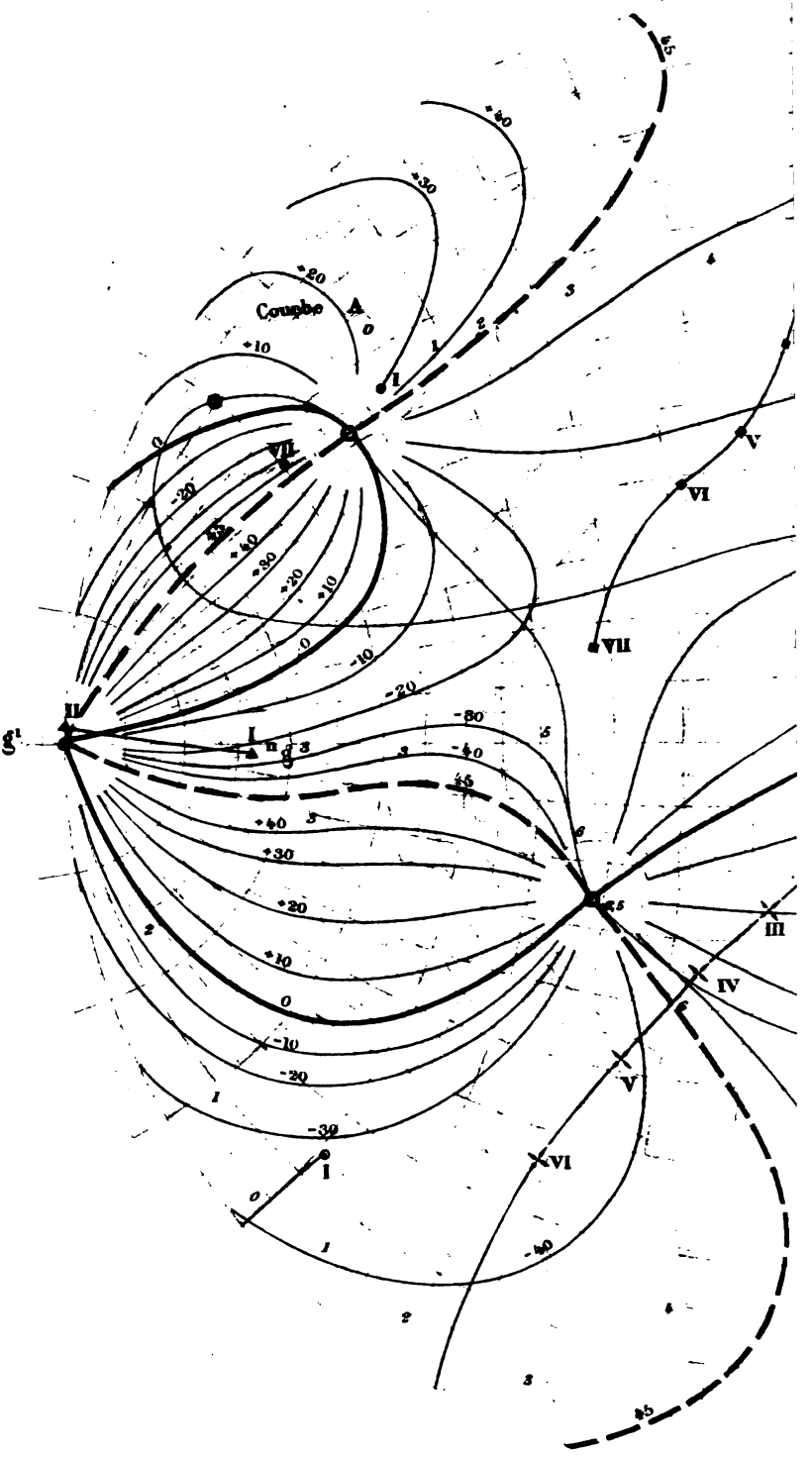
Contribution à l'étude du microcline. 101

Épure générale (Pl. XVII) 101
Zone de symétrie perpendiculaire à g^1 101
Épure de l'éclairement commun de la macle de l'albite (Pl. XVIII). . . . 104
Exemple pratique (Pl. XXI). 105

Explication des planches 107

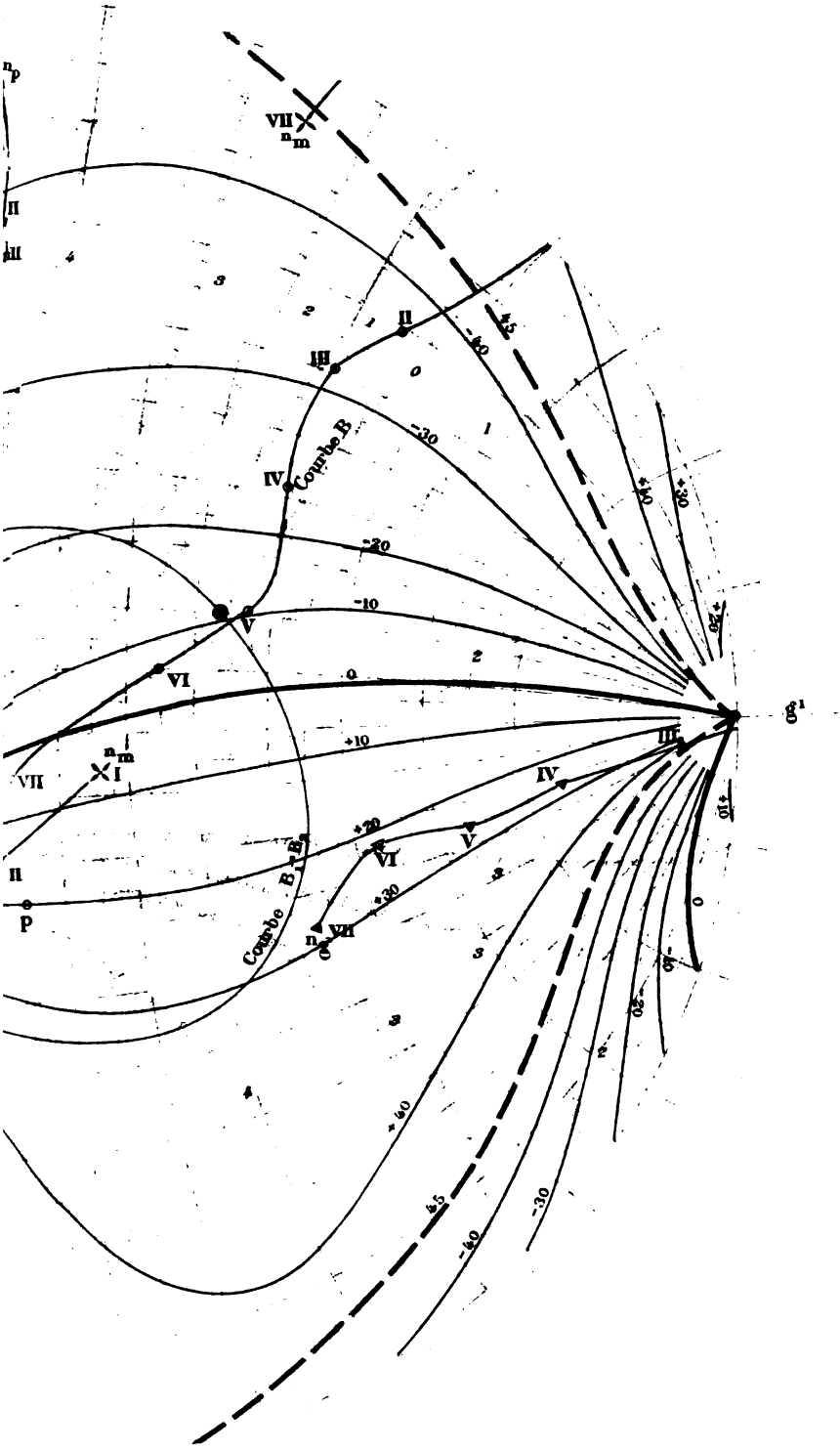
EVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

A. Michel Lévy. — Les feldspaths en plaque mince, 2ème fasc.



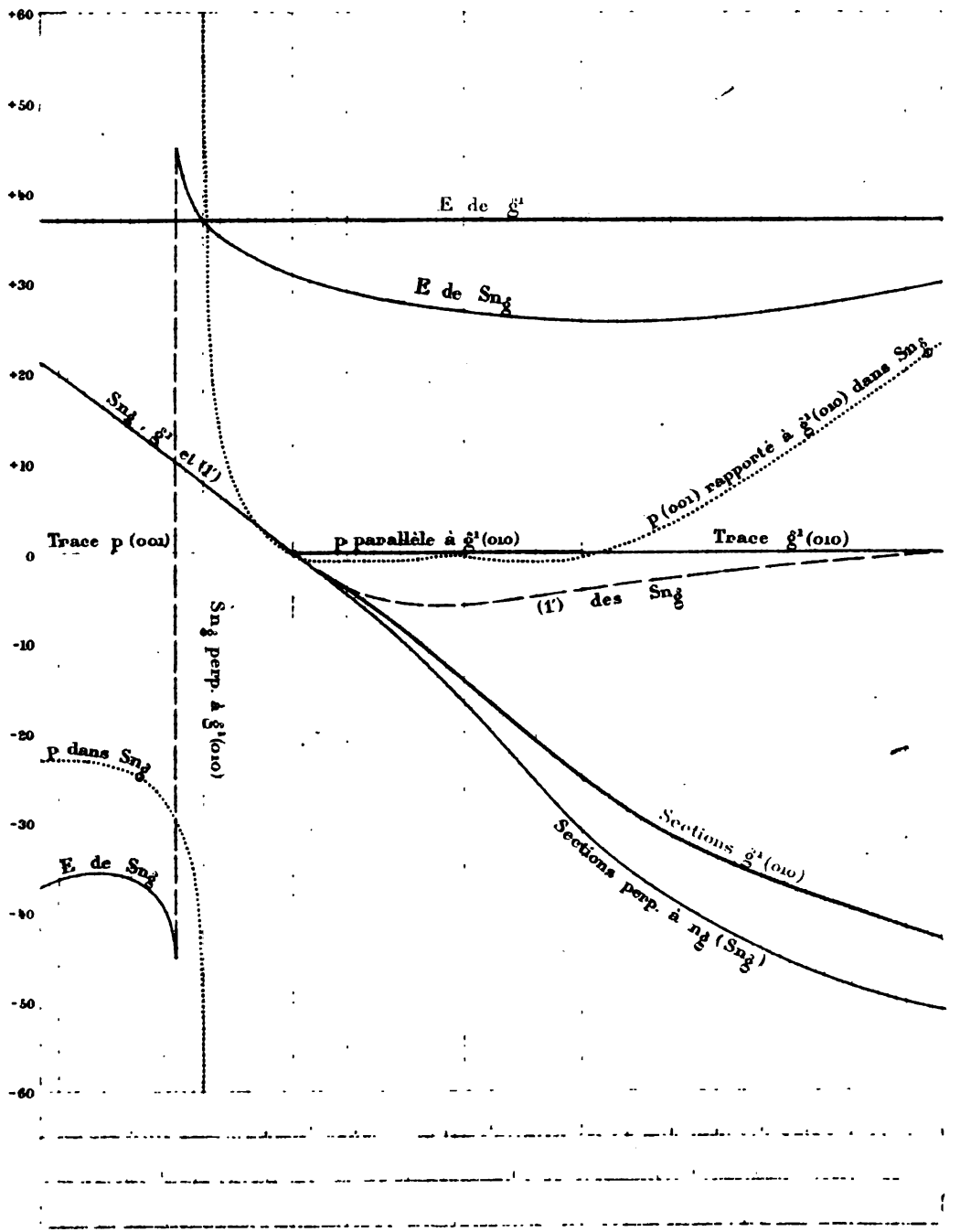
Erhard Sc.

Eclairement commun des plagioclases Pl. IX.

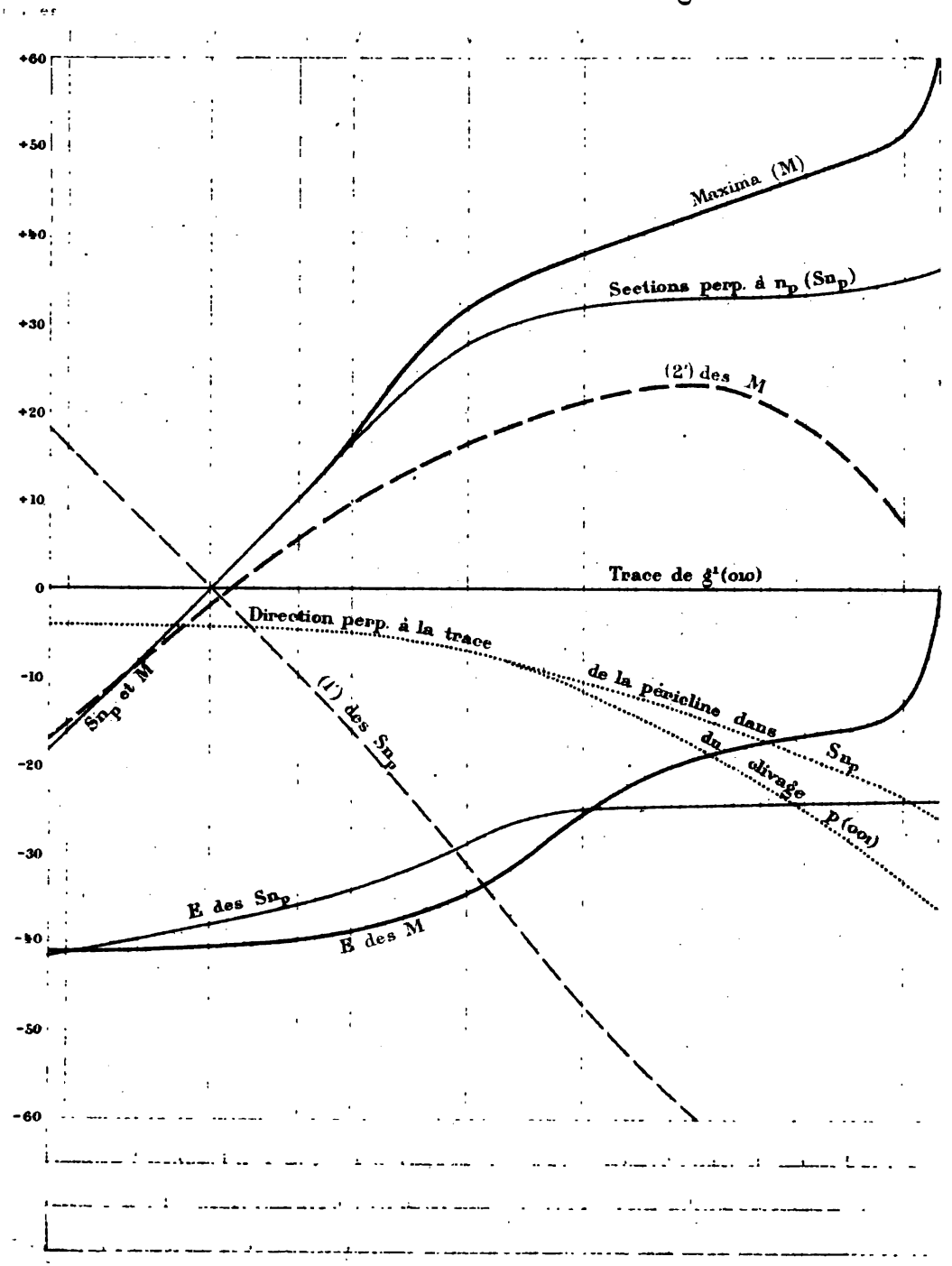


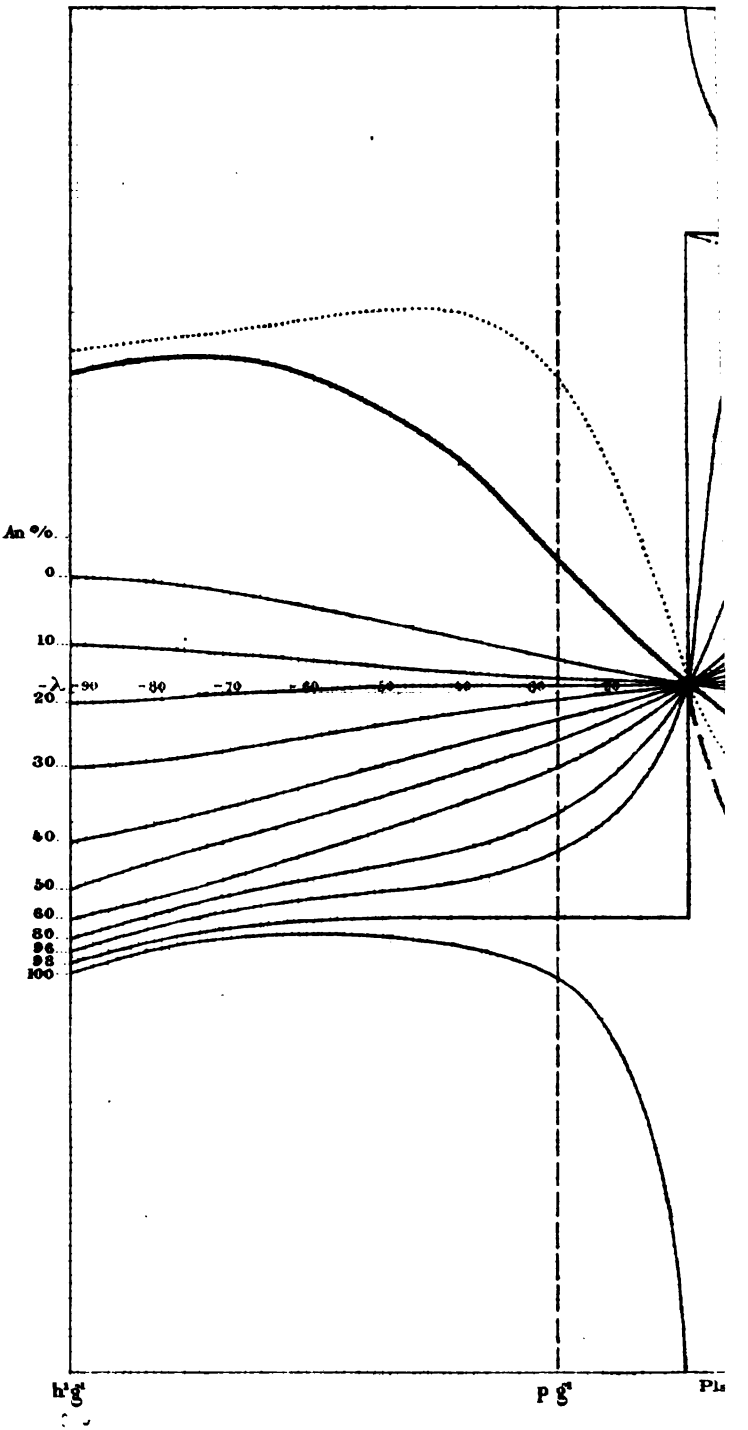
Imp Erhard Frres

Sections perpendiculaires à la bissectrice $n_{\hat{g}}$
et sections $\hat{g}^1(010)$.

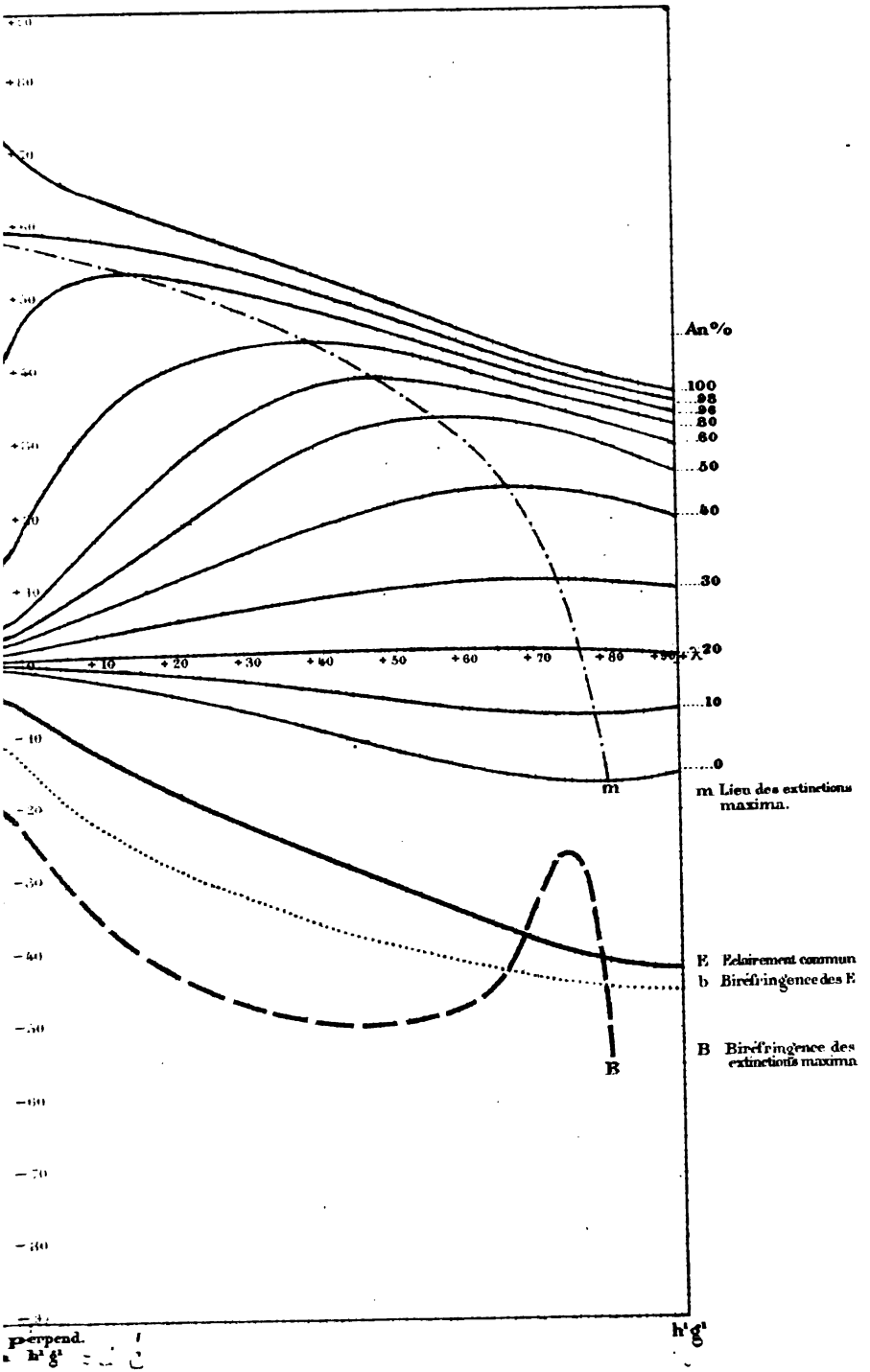


Sections perpendiculaires à la bissectrice n_p
et maxima de la zone perpendiculaire à $g^1(010)$.



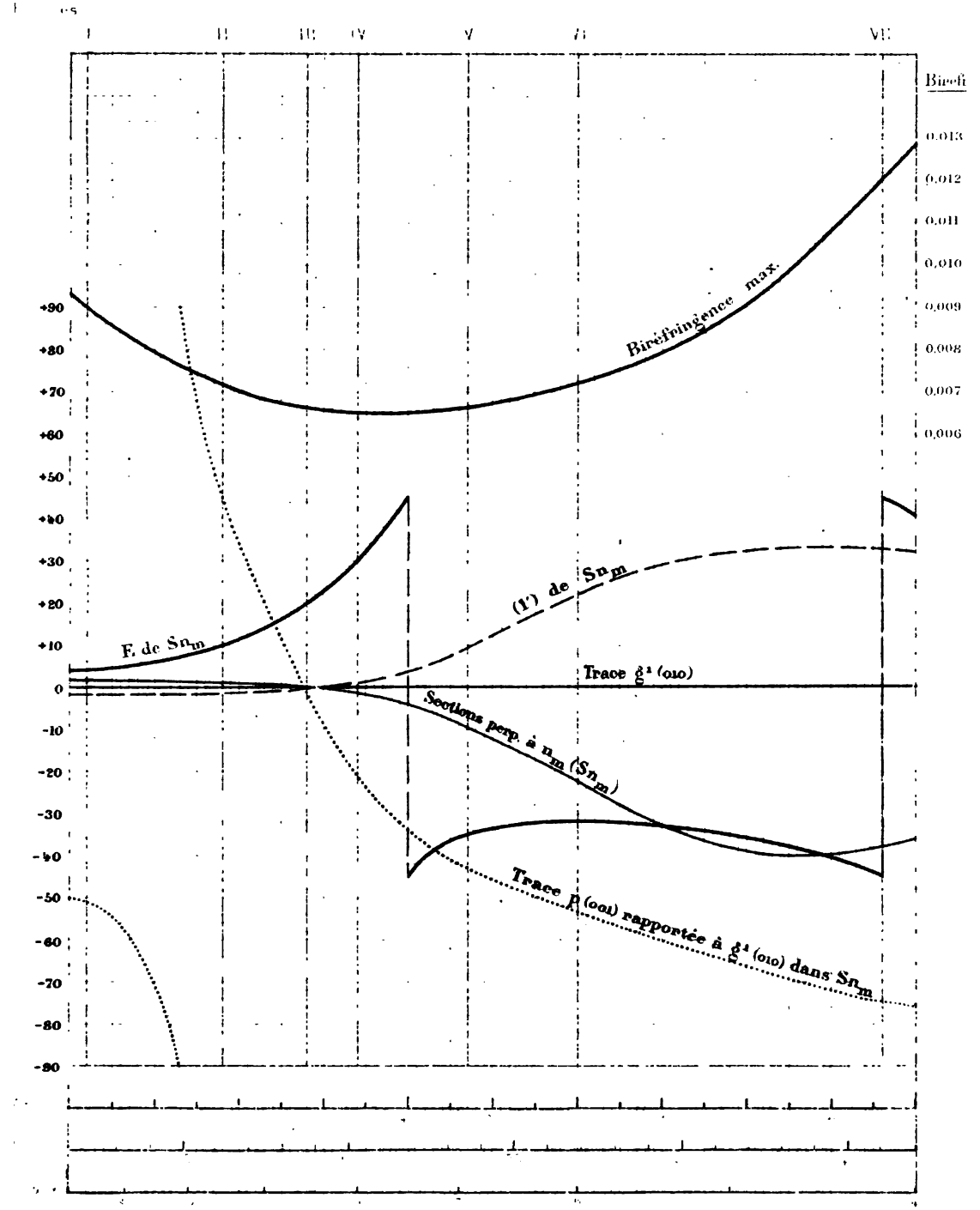

An %
0
10
20
30
40
50
60
80
96
98
100
-λ
-90
-80
-70
-60
-50
-40
-30
h¹ g¹
p g¹
Pl

Zone de Symètrie perpendiculaire à g^1 Pl. XII.

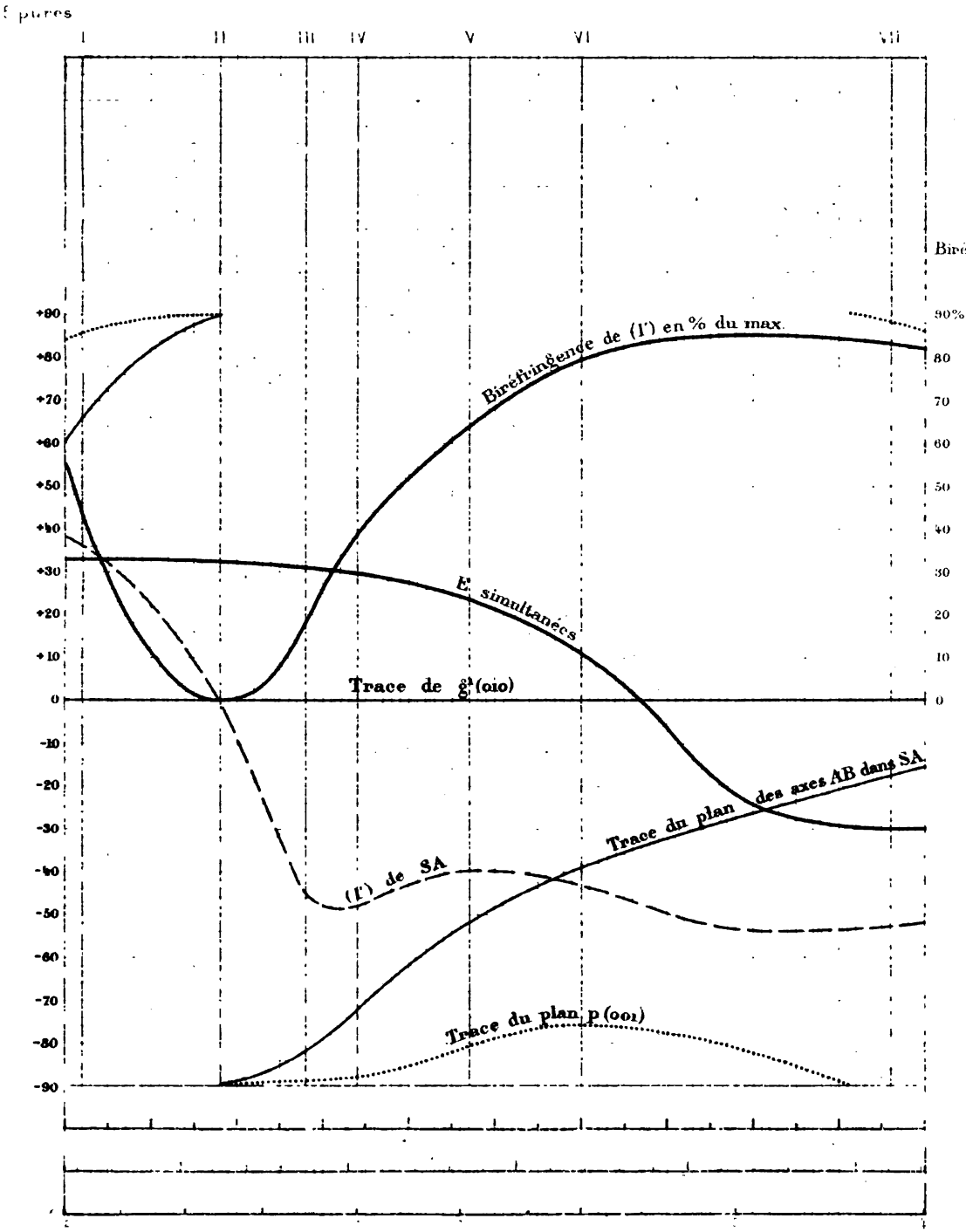


Imp. Erhard Frères

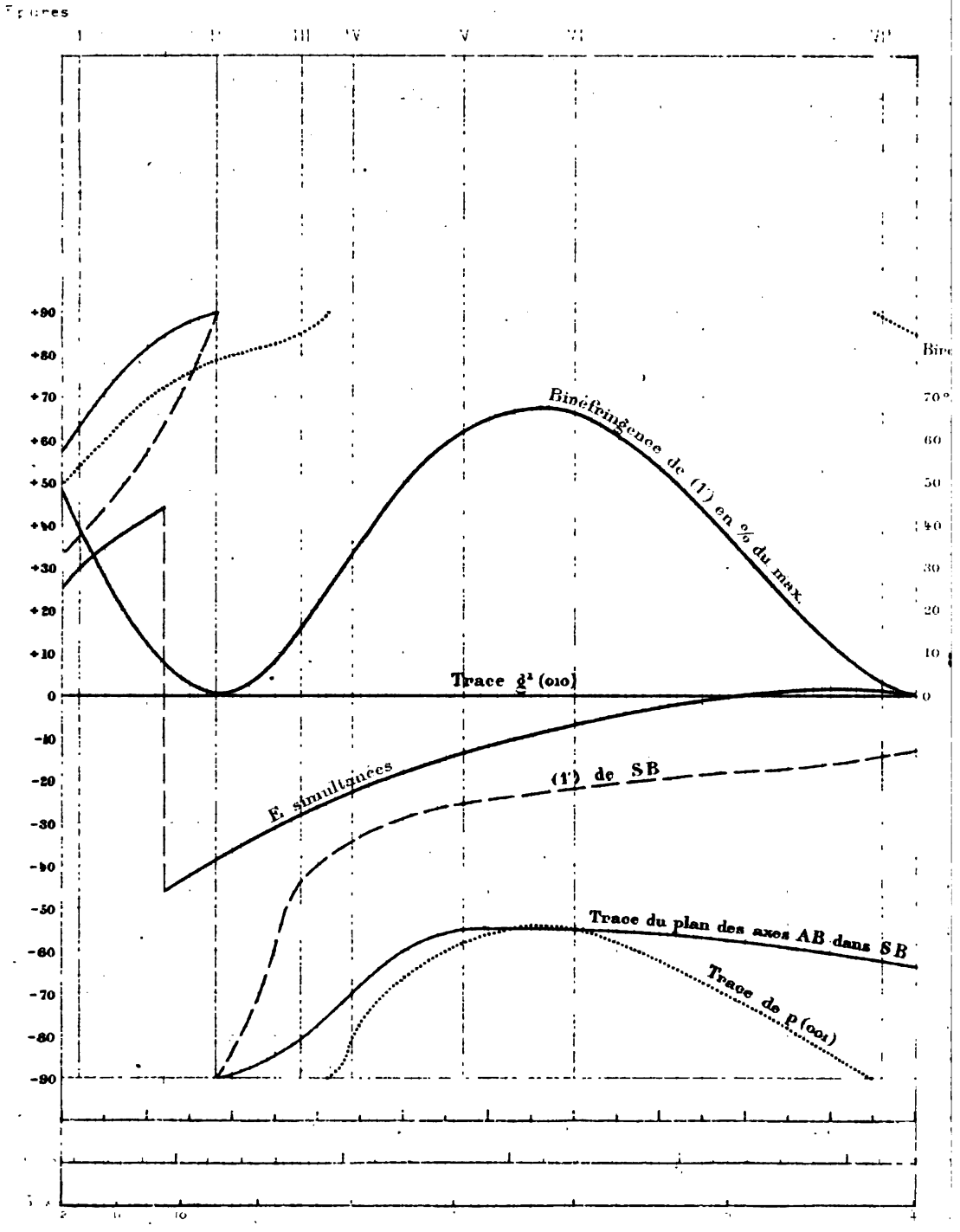
Sections perpendiculaires à l'axe n_m



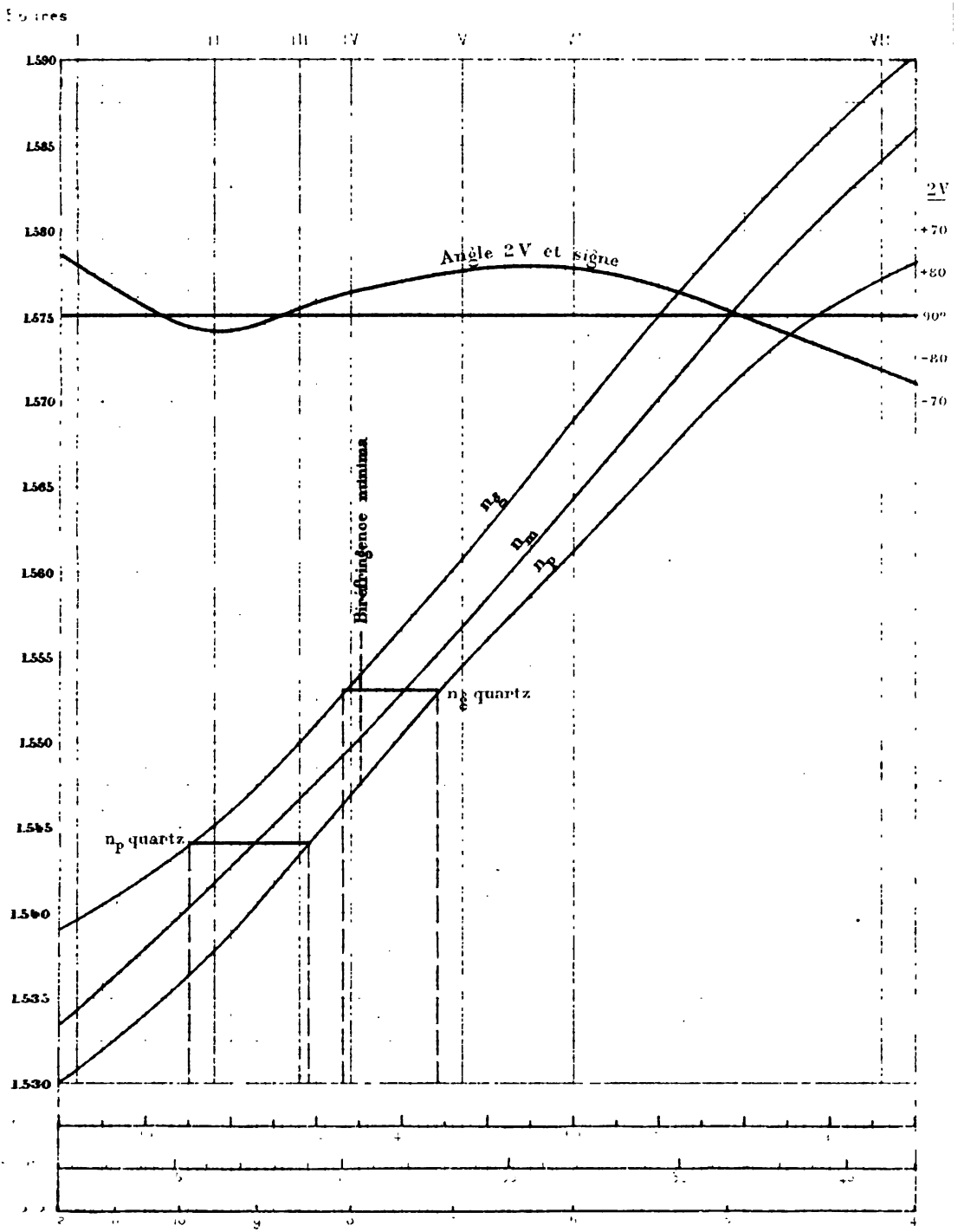
Sections perpendiculaires à l'axe optique A (SA).

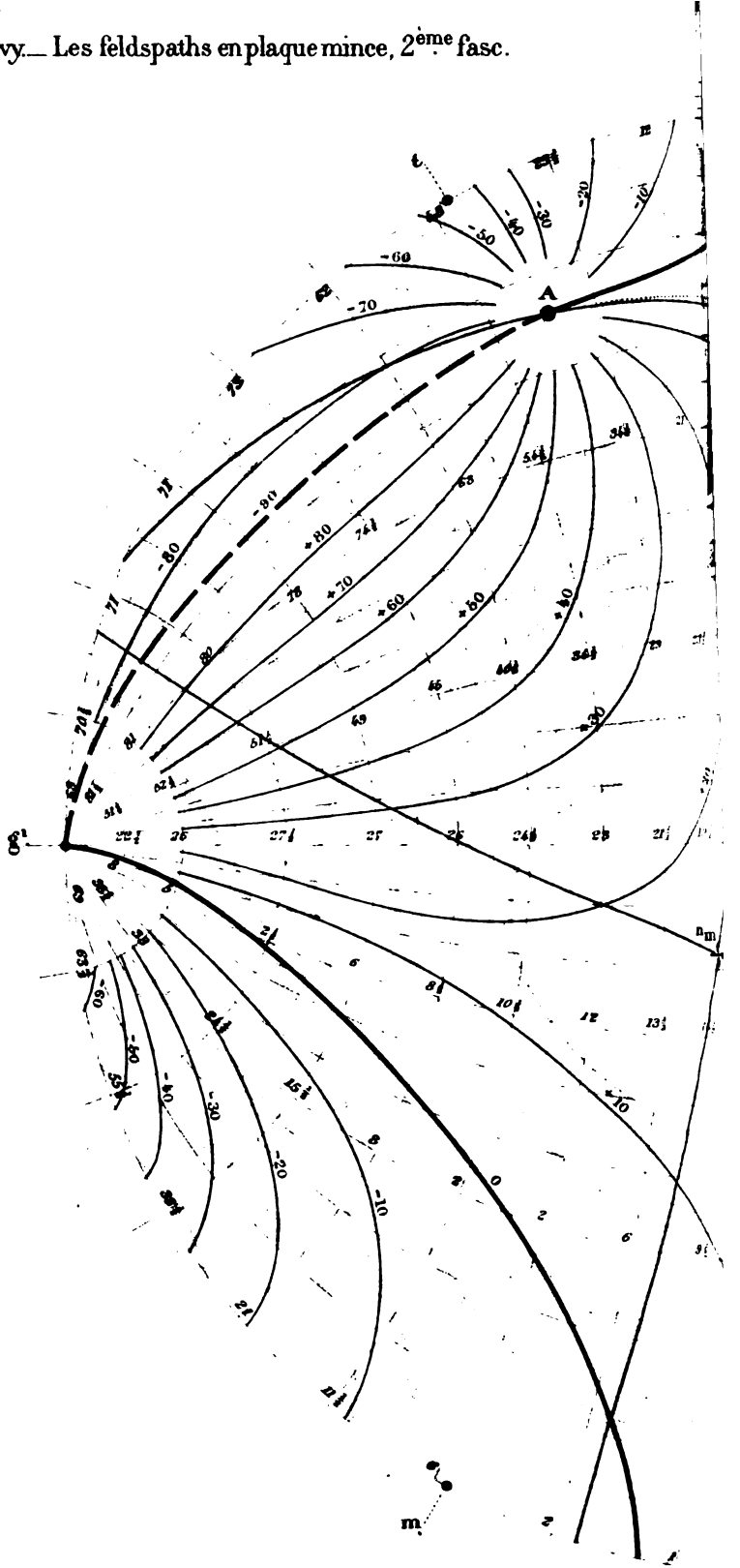


Sections perpendiculaires à l'axe optique B (SB).

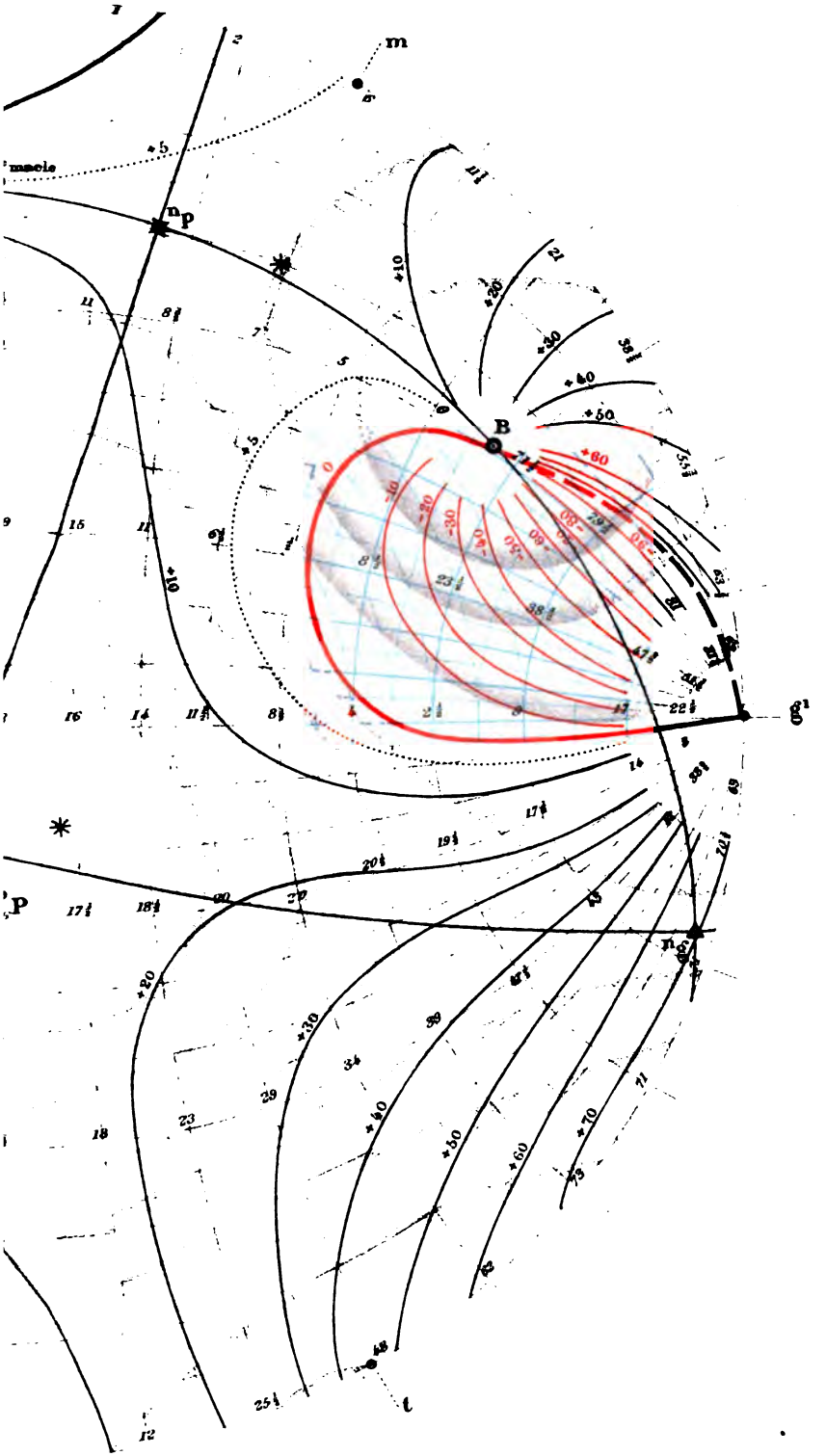


Indices, biréfringences, et écartement des axes AB (Angle 2V).



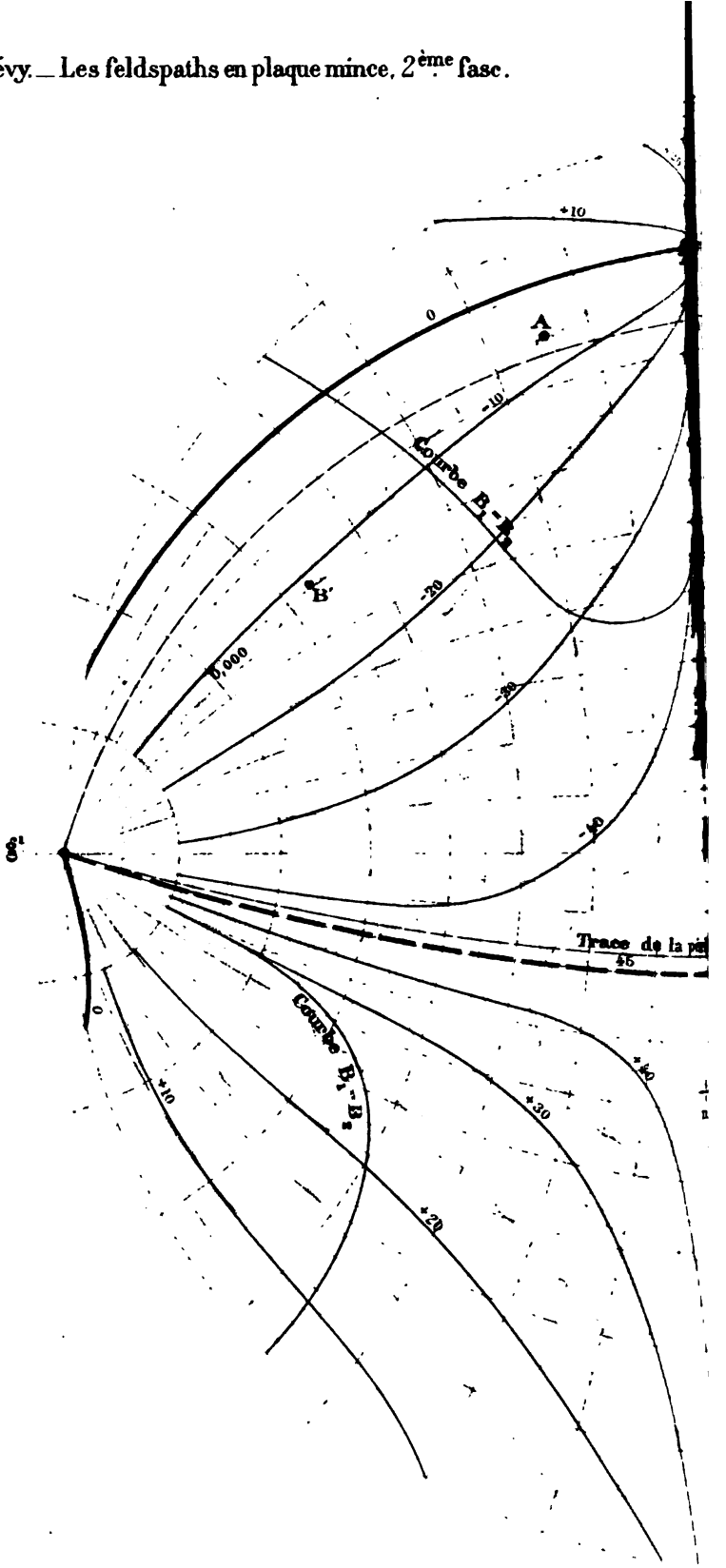


Erhard Sc.



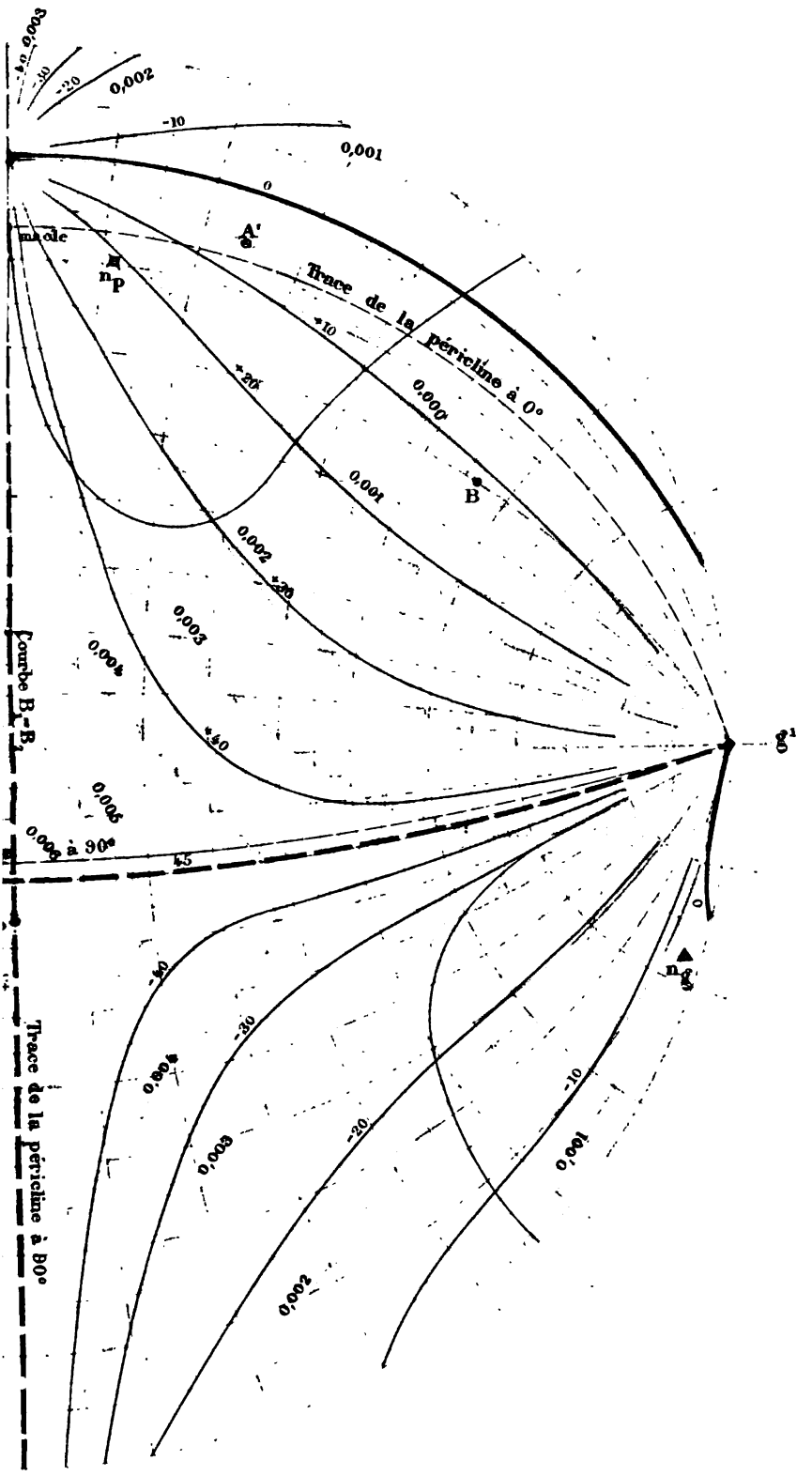
Imp. Erhard Frères

A. Michel Lévy. — Les feldspaths en plaque mince, 2ème fasc.



Erhard Sc.

Eclairement commun du microcline Pl. XVIII.



Imp. Erhard Frres

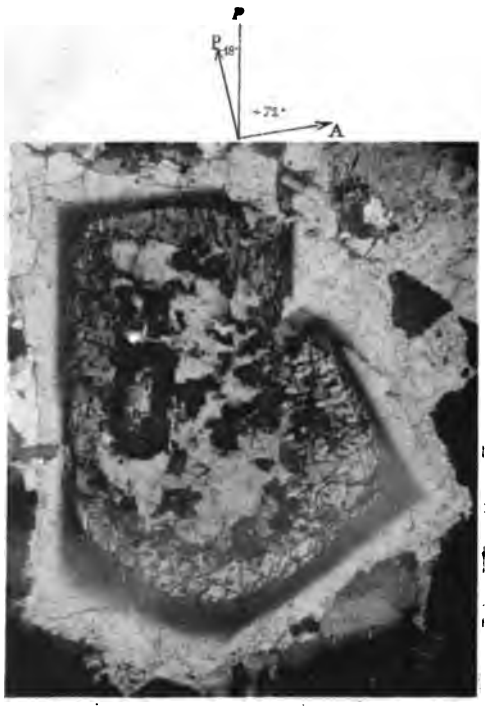


Fig. 1

Fig. 2

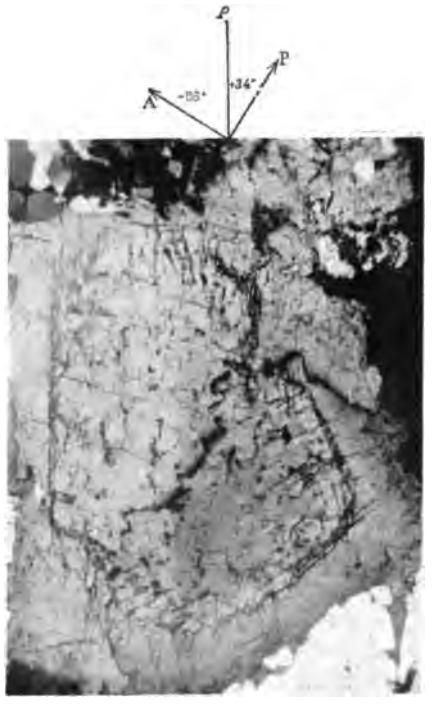


Fig. 3

Section parallèle à g^1 (010)

Campy, 36, Avenue de Châtillon

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

Section perpendiculaire à g^1

Campy, 36, Avenue de Châtillon

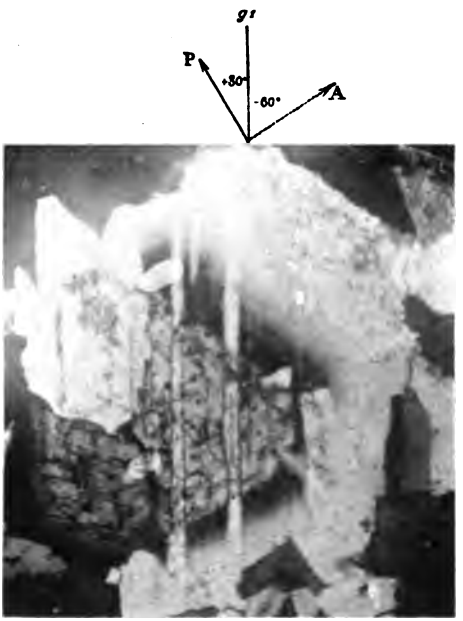


Fig. 1

Fig. 2

Section perpendiculaire à l'axe *B*

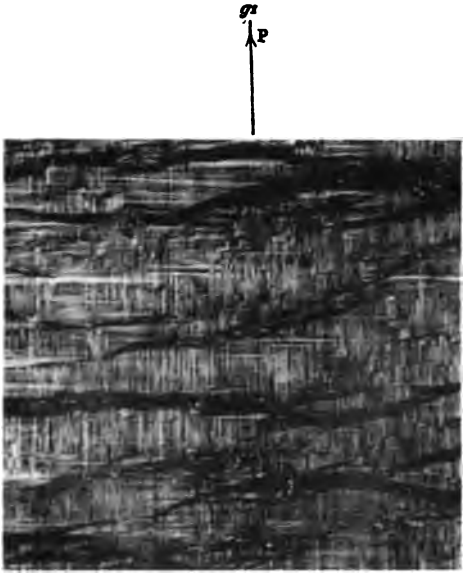


Fig. 3

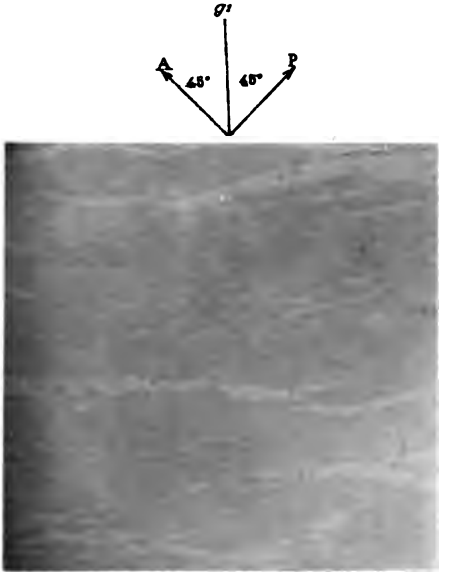


Fig. 4

Section *p* du microcline

Campy, 36, Avenue de Châtillon

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS

PARIS. 15, rue des Saints-Pères. — LIÈGE, rue de la Régence, 21.

EXTRAIT DU CATALOGUE

Les Minéraux des roches.

Les minéraux des roches. 1° Application des méthodes minéralogiques et chimiques à leur étude microscopique, par A. MICHEL LÉVY, ingénieur en chef des mines. 2° Données physiques et optiques, par A. MICHEL LÉVY et LACROIX. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte et une planche en couleur. . . . 12 fr. 50

Le Tableau des biréfringences seul . . . . . 1 fr. 50

Tableaux des minéraux des roches.

Tableaux des minéraux des roches. Résumé de leurs propriétés optiques, cristallographiques et chimiques, par MICHEL LÉVY et LACROIX. 1 volume in-4° relié. . 6 fr.

Roches éruptives.

Structures et classification des roches éruptives, par A. MICHEL LÉVY, ingénieur en chef des mines. 1 volume grand in-8°. . . . . 5 fr.

Enclaves des roches volcaniques.

Les enclaves des roches volcaniques, par A. LACROIX, professeur de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle. 1 volume grand in-8°, avec 8 planches en couleur. 40 fr.

Minéralogie de la France.

Minéralogie de la France et de ses colonies. Description physique et chimique des minéraux, étude des conditions géologiques de leurs gisements, par A. LACROIX.

Tome Ier. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte. . . 30 fr.

NOTA. La 1re partie du tome II sera mise en vente dans le milieu de l'année 1896. La fin du tome II paraîtra en décembre 1896.

Traité de minéralogie.

Traité de minéralogie à l'usage des candidats à la licence ès sciences physiques et des candidats à l'agrégation des sciences naturelles, par WALLERANT, professeur à la Faculté des sciences de Rennes. 1 vol. grand in-8°, avec 341 fig. dans le texte. 12 fr. 50

Traité des gîtes minéraux et métallifères.

Traité des gîtes minéraux et métallifères. Recherche, étude et conditions d'exploitation des minéraux utiles. Description des principales mines connues. Usages et statistique des métaux. Cours de géologie appliquée de l'École supérieure des mines, par ED. FUCHS, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École supérieure des mines, et DE LAUNAY, ingénieur des mines, professeur à l'École supérieure des mines. 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte et 2 cartes en couleur. Relié . . . . . 60 fr.

Etude industrielle des gîtes métallifères.

Étude industrielle des gîtes métallifères. — Classification des gîtes; formation des fractures et cavités; remplissage des gîtes; gîtes sédimentaires; les minerais; gîtes caractéristiques; études minières; traitement des minerais; étude économique d'un gîte, par G. MOREAU, ingénieur des mines. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.

Géologie appliquée.

Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur, par E. NIVOIT, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte . . . . . 40 fr.

Carte géologique de la France au 80 millième.

Carte géologique détaillée de la France à l'échelle du 80 millième publiée par le ministère des Travaux publics, comprenant 267 feuilles de 94 centimètres sur 72 centimètres.

PRIX DE CHAQUE FEUILLE ACCOMPAGNÉE DE SA NOTICE EXPLICATIVE

En feuilles . . . . . 6 fr.

Collée sur toile et pliée. . . . . 10 fr.

Carte géologique de la France au millionième.

Carte géologique de la France à l'échelle du millionième exécutée en utilisant les documents publiés par le service de la carte géologique détaillée de la France par un comité composé de MM. Barrois, Bergeron, Bertrand, Depéret, Fabre, Fontannes, Fouqué, Gosselet, Jacquot, Lecornu, Lory, Michel Lévy, Potier et Vélain, sous la direction de MM. JACQUOT, inspecteur général des mines, et MICHEL LÉVY, ingénieur en chef des mines, 4 feuilles de 65 centimètres sur 60 centimètres, imprimées, en 41 couleurs.

Prix : Collée sur toile et pliée. . . . . 15 fr.

Collée sur toile, montée sur rouleaux et vernie. . . . . 20 fr.

En feuilles. . . . . 9 fr. 50

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

ÉTUDE SUR LA DÉTERMINATION

DES

FELDSPATHS

DANS LES PLAQUES MINCES

(TROISIÈME FASCICULE)

LA ZONE DE SYMÉTRIE DE LA MACLE DE L'ALBITE DANS LES PLAGIOCLASES

PAR

A. MICHEL-LÉVY

Membre de l'Institut,
Inspecteur général des Mines,
Directeur du service de la carte géologique de la France.

Avec 4 planches en couleurs.

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE Ch. BÉRANGER, ÉDITEUR

SUCCESSEUR DE BAUDRY ET Cie

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MAISON A LIÉGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1904

Tous droits réservés.

ÉTUDE SUR LA DÉTERMINATION

DES

FELDSPATHS

DANS LES PLAQUES MINCES

(TROISIÈME FASCICULE)

des lamelles hémitropes suivant la loi de l'albite [1 et 1', 2 et 2', 1 cristal s'éteignant le plus loin de la trace g^1 (010), 2 cristal maclé suivant la loi de Carlsbad avec 1 et s'éteignant le plus près de la trace g^1 (010)] ; cette moyenne coïncide d'une façon vraiment satisfaisante avec l'extinction d'une section, rigoureusement perpendiculaire à g^1 (010), et située sur le même méridien passant par le pôle de g^1 (010).

Si donc nous nous permettons une divagation d'un rayon déterminé r autour du pôle d'une section utilisable, l'erreur commise dans la zone de symétrie, grâce à la correction indiquée ci-dessus, sera au moins deux fois plus petite que pour toute autre face ; mais en outre la recherche de g^1 (010) ou des sections perpendiculaires aux bissectrices, Sn_g, Sn_p, ou encore aux axes optiques A ou B, ne peut se faire que dans une surface πr^2, tandis que la surface correspondante de la zone de symétrie sera $2\pi r$, que, d'après les observations précédentes, il faut au moins doubler et dont il convient de prendre ensuite les neuf dixièmes, soit $3{,}6\ \pi r$. On remarque que r représente ici une sorte de parallaxe vue du centre de la sphère supposée de rayon 1 ; en prenant cette parallaxe égale à un dixième, on la limite à une divagation, entre 5° et 6°, à partir du pôle de la section rigoureuse ; le rapport $\frac{\pi r^2}{3{,}6\,\pi r} = \frac{r}{3{,}6}$ devient donc égal à $\frac{1}{36}$; on a trente-six fois plus de chances de rencontrer une section favorable de la zone de symétrie qu'une section spéciale ; en outre la zone de symétrie permet la détermination facile des plagioclases zonés que ne permet pas la recherche des sections perpendiculaires aux bissectrices, et elle a l'avantage sur les sections g^1 (010) de ne pas exiger de laborieuses vérifications, relatives aux traces, parfois fugitives, des clivages p (001).

Nous avons developpé (fascicule I, page 29) la théorie complète de l'utilisation des données afférentes à la zone perpendiculaire à g^1 (010) et dessiné une épure, par interpolation, de 10 en 10 p. 100 d'anorthite, des extinctions de cette zone, rapportées aux faces dont les pôles s'échelonne de 0° [perpendiculairement à g^1h^1 (010) (100)] à $\pm$ 90°.

Nous désirons revenir aujourd'hui sur le cas fréquent où la

macle de Carlsbad s'associe à celle de l'albite et permet la détermination exacte et complète du plagioclase et de son orientation, au moyen d'une seule section de la zone de symétrie; jusqu'à présent on devait recourir aux épures des feldspaths intermédiaires et chercher par tâtonnement une solution approximative ; nous nous proposons de tracer un diagramme, sorte de règle à calcul à quatre coordonnées, qui, moyennant les extinctions 1 et 2, sans considération des signes, donne le pôle de la section choisie, et le pourcentage d'anorthite du plagioclase étudié.

L'épure (pl. XII, 2e fascicule) permet de tracer empiriquement le diagramme en question; il suffit, en effet, de superposer le côté gauche de cette épure au côté droit, après l'avoir fait tourner de 180° autour de l'axe des x, pour avoir, de 10 en 10 p. 100 d'anorthite, les données recherchées; à savoir pour chaque pôle, considéré sans distinction de signe à partir de la trace de h^1 g^1 (100) (010), l'extinction de la lamelle (1) donnée par les courbes de la moitié droite et celle de la lamelle (2) donnée par la moitié gauche, retournée comme nous l'avons indiqué plus haut.

Nous avons tracé ce diagramme qui nous a donné des résultats empiriques satisfaisants ; mais nous avons pensé qu'il pourrait emprunter une précision et une valeur théorique supérieures, si nous cherchions à le faire bénéficier de l'élégante méthode que Mallard[1] a indiquée, pour déduire l'extinction d'une section d'un plagioclase quelconque, de celles de l'albite et de l'anorthite, coupées suivant la même orientation.

Si l'on appelle α_1 l'angle de l'axe n'_p de l'ellipse de section du plagioclase avec le même axe de l'albite, x la proportion $\frac{m_1}{m_2}$ d'albite et d'anorthite, dans le sens que Tschermak attache à leur formule chimique, on a :

$$\text{(1)} \qquad \text{Cotg } 2\alpha_1 = Ax + B$$

A et B étant des constantes qui dépendent des biréfringences et des extinctions de la section d'orientation choisie dans l'albite et dans l'anorthite.

Pour appliquer commodément cette relation linéaire à notre

[1] Sur l'isomorphisme des feldspaths tricliniques, *Bull. Soc. Min. fr.*, 1881, IV, 96.

diagramme, nous rappellerons que nous possédons des épures assez satisfaisantes de l'albite pure et de l'anorthite de la Somma à 95 p. 100 d'anorthite. Nous savons, en outre, depuis les recherches de Des Cloizeaux sur les oligoclases, que certains de ces plagioclases, contenant 16 à 18 p. 100 d'anorthite, s'éteignent constamment à 0° dans la zone de symétrie : n_g y est sensiblement perpendiculaire à g^1 (010); n_p à 7° de pg^1 (001.010). Enfin l'étude détaillée et approfondie des andésines de Saint-Raphaël nous apprend que ces plagioclases passent, dans la zone de symétrie, par un maximum de 28° à 30°, tandis que la lamelle 2, maclée suivant la loi de Carlsbad, donne 14° à 16°. C'est un point de repère utile pour choisir le pour 100 d'anorthite de l'oligoclase à 0°.

Voici, dès lors, les bases du calcul qui va nous permettre de déterminer les constantes A et B de l'équation (1), pour les divers pôles s'échelonnant de 0° [section perpendiculaire à h^1g^1 (100.010)] à ± 90° [section parallèle à h^1g^1 (100.010)].

Nous faisons d'abord $x = \frac{m_1}{m_2} = 0$; le feldspath traité est donc l'anorthite à 95 p. 100 An. de l'épure VII, fascicule 1. L'angle α_1 est facile à déduire des angles d'extinction, rapportés à la trace de g^1 (010), mentionnés dans cette épure et dans celle de la planche I, afférente à l'albite : ces angles sont constamment de signes contraires; il suffit donc de les additionner pour obtenir α_1, et pour calculer cotg $2\alpha_1$ = B. On trouve ainsi les valeurs suivantes, en supposant α_1 positif, quand l'extinction se fait dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir de celle de l'albite.

PÔLES	$2\alpha_1$	Cotg $2\alpha_1$ = B
0°	+ 96°	— 0,105
+ 10°	+ 109°	— 0,344
+ 20°	+ 111°	— 0,384
+ 30°	+ 114°	— 0,445
+ 40°	+ 115°	— 0,466
+ 50°	+ 114°	— 0,445
+ 60°	+ 112°	— 0,404
+ 70°	+ 111°	— 0,384
+ 80°	+ 109°	— 0,344
+ 90°	+ 101°	— 0,194
— 10°	— 18°	— 3,078
— 20°	— 40°	— 1,191

PÔLES	$2\alpha_1$	$\text{Cotg}\, 2\alpha_1 = B$
— 30°	— 59°	— 0,601
— 40°	— 68°	— 0,404
— 50°	— 74°	— 0,287
— 60°	— 83°	— 0,127
— 70°	— 90°	0
— 80°	— 96°	+ 0,105
— 90°	— 101°	+ 0,194

Pour calculer A, nous attribuerons la propriété de s'éteindre constamment à 0° de la trace g^1 (010), à l'oligoclase pour lequel $\frac{m_1}{m_2} = x = 5$; c'est par tâtonnements et en nous servant des données de l'andésine de Saint-Raphaël [1] que nous avons fait ce choix; on remarquera que pour passer de l'échelle $x = \frac{m_1}{m_2}$ à l'échelle z' p. 100 d'anorthite, il est commode de passer d'abord par l'échelle z p. 100 de l'anorthite à 95 p. 100, qui nous sert de point de départ. On a, avec évidence,

$$m_1 + m_2 = 100, \quad z = m_2 \text{ et } x = \frac{m_1}{m_2}$$

d'où

$$(1 + x)\, z = 100 \quad \text{et} \quad z' = z - 0{,}05\, z$$

pour

$$x = 5, \quad z = 16{,}66 \text{ p. } 100 \quad \text{et} \quad z' = 15{,}83$$

C'est donc à l'oligoclase à 16 p. 100 environ que nous attribuons la propriété de s'éteindre comme le ferait l'orthose.

Dès lors, dans le calcul de A, l'équation (1) montre que, pour $x = 5$, α'_1 est égal aux extinctions de l'albite, changées de signe; $A = \frac{\text{cotg}\, 2\alpha'_1 - B}{5}$; voici les résultats trouvés :

PÔLES	$2\,\alpha'_1$	$\text{Cotg}\, 2\,\alpha'_1$	$A = \frac{\text{cotg}\, 2\,\alpha'_1 - B}{5}$
0°	+ 1°	+ 57,291	+ 11,479
+ 10°	+ 4°	+ 14,301	+ 2,929
+ 20°	+ 7°	+ 8,145	+ 1,706
+ 30°	+ 12°	+ 4,705	+ 1,030
+ 40°	+ 17°	+ 3,271	+ 0,747
+ 50°	+ 21°	+ 2,605	+ 0,610
+ 60°	+ 25°	+ 2,145	+ 0,510

[1] Maximum d'extinction à 28°, dans la zone de symétrie, pour l'andésine à 44 p. 100, An.

PÔLES	$2\alpha'_1$	Cotg $2\alpha'_1$	$A = \frac{\text{cotg } 2\alpha'_1 - B}{5}$
—	—	—	—
+ 70°	+ 30	+ 1,732	+ 0,423
+ 80°	+ 32	+ 1,600	+ 0,389
+ 90°	+ 30	+ 1,732	+ 0,385
— 10°	— 3°	— 19,081	— 3,201
— 20°	— 6°	— 9,514	— 1,664
— 30°	— 10°	— 5,671	— 1,014
— 40°	— 14°	— 4,011	— 0,721
— 50°	— 18°	— 3,078	— 0,558
— 60°	— 24°	— 2,246	— 0,425
— 70°	— 28°	— 1,881	— 0,376
— 80°	— 30°	— 1,732	— 0,367
— 90°	— 30°	— 1,732	— 0,385

Nous possédons désormais les paramètres de l'équation (1) pour les divers pôles se succédant le long de la trace de g^1 (010), sur la sphère de nos épures, pôles positifs pour les extinctions relatives aux lamelles (1), négatifs pour les lamelles (2).

Ainsi, à 30° de la perpendiculaire à h^1g^1 (100) (010), les extinctions cherchées sont données :

pour la lamelle (1) (pôle + 30°),

par cotg $2\alpha = 1{,}030\ x - 0{,}445$;

et pour la lamelle (2) (pôle — 30°),

par cotg $2\alpha' = -1{,}014\ x - 0{,}601$.

Pratiquement, de x on passe à z, puis à z' pour 100 d'anorthite, comme il a été dit plus haut :

$$(1 + x)\ z = 100, \quad z' = z\ (1 - 0{,}05).$$

Voici la marche que nous avons suivie, en vue d'utiliser les équations, pour dresser le diagramme caractéristique, réunissant dans une seule abaque les extinctions (1) et (2), la position des pôles, et la valeur z' p. 100 d'anorthite.

Nous avons d'abord cherché les extinctions (2) qui se succèdent, pour un pôle négatif donné, quand on fait varier x, c'est-à-dire z'. Prenons encore comme exemple le pôle négatif — 30°; dans l'équation (2), nous ferons successivement :

x	z p. 100.	z' p. 100.	x	z p. 100.	z' p. 100.
0	100	95		(*suite*).	
1/9	90	85,5	1	50	47,5
1/4	80	76	1,5	40	38
3/7	70	66,5	2	33,33	31,6
2/3	60	57	5	16,67	15,83

Les valeurs de cotg $2\alpha'$, ainsi calculées, fournissent l'angle α'_1 qui doit être diminué de l'angle d'extinction de l'albite au pôle — 30°, soit de 5°. Nous donnons les angles ainsi obtenus, rapportés à la trace g^1 (010) pour les divers pôles négatifs, de 0° à — 90°.

z'	0°	— 10°	— 20°	— 30°	— 40°	— 50°	— 60°	— 70°	— 80°	— 90°
95 p. 100. .	+ 47°1/2	— 7°1/2	—17°	—24°1/2	—26°3/4	—28°	—29°1/2	—31°	—33°	—35°1/2
85,5	—19°3/4	6°1/2	15°	22°1/2	25°	26°1/2	28°	29°3/4	32°	34°1/2
76.	9°1/2	5°3/4	13°	19°3/4	23°	24°1/2	26°1/2	28°1/2	30°1/2	32°3/4
66,5	5°1/2	4°3/4	11°	17°	20°	22°	24°1/2	26°1/2	28°1/2	31°
57.	3°1/4	4°	8°3/4	14°	17°1/4	19°	22°	24°	26°	28°1/4
47,5	2°	3°	6°1/2	11°	13°1/2	16°	18°1/2	20°1/2	22°1/2	24°1/2
38.	»	»	4°1/2	7°1/2	10°	12°	14°1/2	16°1/4	18°	19°1/2
31,6	»	»	3°1/4	5°1/2	7°	8°3/4	11°	12°1/2	14°	15°
15,83. . . .	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

Ces valeurs permettent de tracer par interpollation, dans un système de coordonnées quelconques, des lignes continues représentant les pôles en fonction des extinctions (2) et des valeurs z' p. 100 d'anorthite.

Pour y adjoindre les extinctions (1), nous rappellerons que la propriété caractéristique de la macle de Carlsbad, dans les épures sphériques qui nous ont servi de point de départ, consiste en ce que, si la lamelle (2) correspond au pôle — 30°, par exemple, la lamelle (1) correspond nécessairement au pôle + 30°, puisqu'elle est retournée de 180° autour de l'axe h^1 g^1 (100.010).

Dès lors, dans l'abaque définitive, nous devrons bien distinguer l'extinction (2) de l'extinction (1) ; mais nous confondrons le pôle + 30° avec le pôle — 30°. Le problème consiste donc à chercher la trace, sur les lignes représentatives des divers pôles de 0 à 90°, des courbes qui figureront les extinctions (1), de 5 en 5 degrés, par exemple.

Les équations (1) nous donnent le moyen de calculer les valeurs de x, et par conséquent de z', correspondant pour chaque pôle

aux extinctions 5°, 10°, 15°, etc. Il suffit, dans ce but, de former α_1 pour chacune de ces extinctions, en les doublant et leur ajoutant le double de l'extinction (toujours de sens contraire) de l'albite pour chaque pôle ; ainsi la courbe des extinctions à 5° suppose les cotg $2\alpha_1$ suivantes :

PÔLE	$2\alpha_1$	Cotg $2\alpha_1$	x	z	z'
0°. . . .	$2\times 1/2 + 2\times 5 = 11$	5,145	0,45	68	64 1/2
10°. . . .	$2\times 2 + 2\times 5 = 14$	4,011	1,48	40	38
20°. . . .	$2\times 3\frac{1}{2} + 2\times 5 = 17$	3,271	2,14	32	30 1/2, etc.

Voici le tableau des valeurs de z', permettant de tracer les courbes des extinctions (1).

PÔLES	VALEURS z' POUR LES EXTINCTIONS (1) A :									
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
0°	64 1/2	77	82	85 1/2	88	90 1/4	92	93	94	»
10°	38	50	58	64 1/2	70 1/2	74	78 1/2	82 1/2	87 1/2	92
20°	30 1/2	40	47 1/2	53	59	64 1/2	69 3/4	76	82 3/4	**91**
30°	24 3/4	31 1/2	38	43	49 1/2	54	61	67 1/2	**78**	91 1/2
40°	22 1/2	28	33	39	43	49 1/4	56	**65**	78 1/2	»
50°	21 1/2	26 1/4	30 1/2	36	41 1/2	**47** 1/2	**55** 1/2	67 1/2	86 1/2	»
60°	21	25 1/4	29 3/4	34 1/2	**41**	48 3/4	58 3/4	75	»	»
70°	20 1/4	24 1/4	**29**	**34**	41	50	63 1/2	90 3/4	»	»
80°	**20**	**23** 3/4	29 1/4	34 1/4	42	53	71 1/4	»	»	»
90°	21	26	31 1/2	39	49 1/2	63	90 1/4	»	»	»

Des calculs en tout semblables nous permettent de compléter ces tableaux, de l'oligoclase à 16 p. 100 d'anorthite à l'albite à 0 ($x = 5$ à $x = \infty$). Il faut seulement tenir compte du signe des angles d'extinction qui, au lieu de s'ajouter à celui de l'albite, doivent en être diminués.

z'	EXTINCTIONS (2) ; PÔLES NÉGATIFS					
	0	— 20°	— 40°	— 60°	— 80°	— 90°
16	0°	0°	0°	0°	0°	0°
9 1/2	1/4	1 1/4	3	5	5 3/4	6 1/2
0	1/2	3	7	12	14 1/2	15

PÔLES	EXTINCTIONS (1) PÔLES POSITIFS; VALEURS z' pour les extinctions (1) à		
	5°	10°	15°
0°.	»	»	»
+ 20°.	»	»	»
+ 40°.	8	»	»
+ 60°.	11	4	»
+ 80°.	12 1/2	7	1
+ 90°.	11 3/4	6	0

Nous voici maintenant en mesure de grouper les quatre valeurs, pôles, extinctions (1), extinctions (2) et z' p. 100 d'anorthite, de façon qu'un point du plan représente sans amphibologie leur association. Nous pouvons faire choix de deux quelconques de ces valeurs pour abscisses et pour ordonnées. Les deux autres séries donneront des courbes plus ou moins heureusement distribuées.

Dans la pratique, ce sont les extinctions (1) et (2), sans signe connu, que nous relevons au microscope, entre les nicols exactement croisés. Nous prenons, bien entendu, la précaution de choisir des sections très voisines de la zone de symétrie, dont les positions d'éclairement commun de la macle de l'albite coïncident très sensiblement avec la trace de g^1 (010), et les angles à 45° de cette trace pour l'éclairement commun propre aux parties superposées. Si les deux séries 1 et 1', 2 et 2' sont bien nettes, nous prenons leurs moyennes; sinon il est nécessaire de choisir des sections encore plus voisines de la zone de symétrie. Enfin dans les feldspaths zonés, il convient de faire les lectures 1 et 2 sur des zones similaires, ce qui exige une grande attention, dans certains cas de zones complexes.

Une bonne disposition consiste à prendre pour abscisses les z' p. 100 d'anorthite et pour ordonnées les extinctions (2). Les courbes des pôles convergent vers l'abscisse $z' = 16$; celles des extinctions (1) s'emboîtent l'une dans l'autre, en présentant leur convexité vers l'origine des coordonnées; chacune d'elles est tangente à une verticale, correspondant à une abscisse minimum, marquée en caractères gras dans le tableau des extinctions (1)

(p. 12). On voit que ces abscisses et les valeurs correspondantes des extinctions représentent la courbe des maximum dans la zone de symétrie.

La façon même, dont les calculs ont été faits, rend commode le tracé de cette abaque (pl. XXII). On remarquera cependant que la distribution de l'espace entre les divers pôles est loin d'être proportionnelle à la réalité : du pôle 0° au pôle 10°, l'épure est démesurément étalée; c'est cependant la partie la moins utilisable.

Nous avons encore essayé de conserver pour abscisses les z' p. 100 d'anorthite, mais d'attribuer les ordonnées aux pôles également répartis. On voit, planche XXIII, que les courbes (1) et (2) se coupent parfois à angles aigus ; mais c'est l'épure la plus pratique au point de vue de la distribution dans l'espace des sections utilisables. C'est sur cette planche qu'il convient de superposer les données relatives aux biréfringences, que les épures sphériques des fascicules I et II nous permettent de délimiter approximativement. Nous les avons tracées, en dixièmes de la biréfringence maximum afférente à chaque feldspath, sur deux papiers transparents qu'il convient de superposer à la planche XXIII.

La pelure (pl. XXIII *a*), donne la biréfringence maximum des lamelles (1) et des lamelles (2) pour chaque pôle et pour chaque teneur en anorthite ; on remarquera que le coin inférieur à droite de l'épure, qui comprend toutes les extinctions (2) à 5° et au-dessus, afférentes à des pôles situés entre le pôle 10° et le pôle 0°, ont une biréfringence inférieure à 0,3 ; leur extinction est donc difficile à mesurer avec précision ; elles doivent être délaissées ; or ce sont les seules qui auraient pu prêter à confusion.

La pelure (pl. XXIII *b*), représente la biréfringence de la lamelle (2)[1], au moment de l'éclairement commun de la mâcle de l'albite qui se fait à 45° de la trace g^1 (010). Cette biréfringence se constate facilement, précisément parce que chacun des cristaux (1) et (2) paraît unique ; nous avons en outre tracé des courbes qui donnent, en dixièmes, la différence (δ) des biréfringences (1) et (2) à ce moment d'éclairement commun ; c'est toujours en effet la

[1] Si l'on appelle θ l'angle d'extinction d'une des lamelles rapporté à la trace g^1 (010) et B la biréfringence maximum de cette lamelle, la biréfringence B_l de l'éclairement commun de la macle de l'albite est donnée par la formule $B' = B \cos 2\theta$.

lamelle (2) qui est la plus éclairée, puisque son extinction se fait plus loin de la ligne à 45° de g^1 (010). La lamelle (1) est même toujours éteinte le long de la courbe (1) à 45°, ce qui donne une vérification de l'épure. Cette dernière montre avec évidence que la différence δ est nulle aux environs de l'albite et quels que soient les pôles considérés ; c'est un des meilleurs moyens de diagnostic de l'albite.

Cette différence δ est encore nulle pour les plagioclases, le long des pôles 0° et 90° et faible à leurs abords. Elle est très grande, des andésines aux bytownites, au voisinage des pôles d'extinction maximum des lamelles (1). On remarquera que la différence de biréfringence à l'éclairement commun, entre (1) et (2), est déjà grande et atteint jusqu'à 0,3 dans la zone de symétrie de l'oligoclase à 16 p. 100 d'anorthite.

L'application pratique de ces divers diagrammes à la détermination optique rapide des plagioclases se fait, pour ainsi dire, d'elle-même et ne comporte pas de longues explications. On recherche, au moyen des éclairements communs de la macle de l'albite, les sections voisines de la zone de symétrie et l'on se rend compte du maximum approximatif des extinctions dans cette zone ; si ce maximum est voisin de 0°, on est dans les oligoclases ; approche-t-il de 16° et la macle de Carlsbad se refuse-t-elle obstinément à donner, à l'éclairement commun suivant la macle de l'albite, une biréfringence des lamelles (1) nettement inférieure à celle des lamelles (2), on est au voisinage de l'albite.

Si la macle de Carlsbad est au contraire nettement visible dans beaucoup de sections, les lamelles (1) et (2) donnent des extinctions différentes, à condition d'éliminer les sections dont l'éclairement commun ou même la biréfringence ont une valeur faible, c'est-à-dire celles qui se trouvent échelonnées entre le pôle 0°, perpendiculaire à h^1g^1 (100) (010) et les pôles $\pm$ 7° environ. En réalité, l'œil élimine de lui-même la plupart de ces sections dont l'extinction est difficile à bien déterminer et elles ne représentent pas le dixième des sections de la zone de symétrie.

Ces réserves une fois spécifiées, la détermination des extinctions (1) et (2) donne la solution immédiate du problème : position dans l'espace des sections, z' p. 100 d'anorthite. En outre quand le

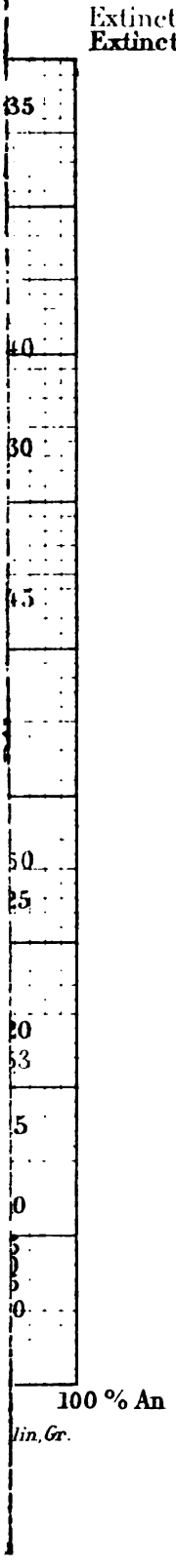
plagioclase est zoné, il permet en général la détermination facile du feldspath le plus basique et le plus acide; on peut même aborder la détermination des plagioclases intermédiaires, à condition de prendre les précautions nécessaires pour que les extinctions (1) et (2) correspondent à une même zone d'accroissement du cristal, ce qui n'est pas toujours commode; en tout cas, on a une vérification à portée : les différents plagioclases, ainsi déterminés, doivent se succéder suivant une même courbe de pôle.

C'est même là une façon de vérifier approximativement le tracé des diagrammes; nous avons, dans ce but, spécialement étudié de nombreuses plaques de la Montagne-Pelée, que M. A. Lacroix a bien voulu nous confier, et de la Grande-Galitte que nous devons à l'obligeance de M. Vélain. Elles contiennent des plagioclases très aberrants : à la Grande-Galitte, la variation va de 70 p. 100 An à 16 p. 100; à la Martinique, de 95 p. 100 à 50 p. 100, le tout dans les mêmes cristaux. Les vérifications ont été très satisfaisantes et coïncident avec les lectures faites sur des sections spéciales : g^1 (010), Sn_g, Sn_p (méthode de M. Fouqué), quand il a été possible de profiter de sections spéciales.

Le diagramme s'arrête à l'anorthite à 95 p. 100; passé cette teneur, l'axe optique B gagne la zone de symétrie (Pl. XII, facs. 2); au droit du pôle à 7°, l'extinction (2) est indéterminée; du pôle 0° au pôle 7°, (1) et (2) sont presque identiques et oscillent de 59° à 60°; du pôle 7° au pôle 90°, (1) descend de 60° à 36° et (2) *monte* de 30° à 36°. Toutes nos courbes, pôles et extinctions (1), se relèvent brusquement et coupent l'ordonnée de cette anorthite entre (2) = 30° et 36°. On trouve alors des nombres (1) et (2) qui ne se coupent pas sur le diagramme, par exemple (1) = 50°, (2) = 30°, et l'anorthite à l'étude dépasse 95 p. 100. Nous n'avons pas *de* données assez exactes pour prolonger nos courbes avec une suffisante précision.

En tout cas, la méthode exposée permettrait l'amélioration du tracé, en partant de données nouvelles plus précises, si le besoin s'en faisait sentir pratiquement. Le lecteur attentif a dû saisir *la* grande facilité que lui procureront les diagrammes nouveaux, qui n'exigent, pour être utilisés, aucun effort exceptionnel.

Pl. XXIII.



lin, Gr.

Pl. XXIII_a.

Biréfringences à l'
id.

Pl. XXIII_b.

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

SUCCESSEUR DE BAUDRY ET Cie

PARIS, 15, rue des Saints-Pères. — LIÉGE, rue de la Régence, 21

EXTRAIT DU CATALOGUE

Les Minéraux des roches.

Les minéraux des roches. 1° Application des méthodes minéralogiques et chimiques à l'étude microscopique, par A. MICHEL-LÉVY, ingénieur en chef des mines. 2° Données physiques et optiques, par A. MICHEL-LÉVY et LACROIX. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte et une planche en couleur. . . . . 12 fr. »

Tableaux des minéraux des roches.

Tableaux des minéraux des roches. Résumé de leurs propriétés optiques cristallographiques et chimiques, par MICHEL-LÉVY et LACROIX. 1 volume in-4°, relié . . . . . 6 fr

Roches éruptives.

Structures et classification des roches éruptives, par A. MICHEL-LÉVY, ingénieur en chef des mines. 1 volume grand in-8° . . . . . 5 fr.

Minéralogie de la France.

Minéralogie de la France et de ses colonies. Description physique et chimique des minéraux, étude des conditions géologiques de leurs gisements par A. LACROIX, professeur de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle.

Tome Ier. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte . . . . . 30 fr

Tome II. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte. . . . . 30 fr.

Tome III. 1re partie, 1 vol. grand in-8°, avec figures. . . . . 15 fr.

Le second fascicule du Tome III et le Tome IV sont en préparation.

Traité de minéralogie.

Traité de minéralogie à l'usage des candidats à la licence ès sciences physiques et des candidats à l'agrégation des sciences naturelles, par WALLERANT, professeur à la Faculté des sciences de Rennes, 1 volume grand in-8°, avec 341 figures dans le texte . . . . 12 fr. »

Traité des gîtes minéraux et métallifères.

Traité des gîtes minéraux et métallifères. Recherche, étude et conditions d'exploitation des minéraux utiles. Description des principales mines connues. Usage et statistique des métaux. Cours de géologie appliquée de l'École supérieure des mines, par ED. FUCHS, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École supérieure des mines, et DE LAUNAY, ingénieur des mines, professeur à l'École supérieure des mines. 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte et 2 cartes en couleur. Relié. . . . . 60 fr. »

Traité des gisements métallifères.

Traité des gisements métallifères. Sécrétions magmatiques, minerais à l'état de roches sédimentaires, gisements sédimentaires de minerais de fer, gisements sédimentaires de manganèse, gisements aurifères en couches d'âge paléozoïque et mésozoïque Gisements épigénétiques. Gisements secondaires. Indications générales pour la recherche des gisements métalliques, par le Dr RICHARD BECK, professeur de géologie à l'Académie de Freiberg, traduit sur la seconde édition par O. CHEMIN, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Ancien professeur à l'École des ponts et chaussées. 1 volume in-8° avec 257 figures dans le texte Relié . . . . . 30 fr. »

Etude industrielle des gîtes métallifères.

Etude industrielle des gîtes métallifères. Classification des gîtes; formation des fractures et cavités; remplissage des gîtes; gîtes sédimentaires; les minerais; gîtes caractéristiques: études minières: traitement des minerais; étude économique d'un gîte. par G. MOREAU, ingénieur des mines. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte. Relié. . . . . 20 fr.

Cours de géologie.

Cours de géologie par E. NIVOIT, inspecteur général des mines, membre de la Société nationale d'Agriculture de France, professeur à l'École nationale des ponts et chaussées. 1 volume de 620 pages, grand in-8° avec 431 figures dans le texte. . . . . 20 fr. »

Carte géologique de la France au 80 millième.

Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle du 80 millième, publiée par le ministère des Travaux publics, comprenant 267 feuilles de 94 centimètres sur 72 centimètres.

Prix de chaque feuille accompagnée de sa notice explicative : En feuilles. . . 6 fr. »

Collée sur toile et pliée . . . . . 10 fr. »

Carte géologique de la France au millionième.

Carte géologique de la France, à l'échelle du millionième, exécutée en utilisant les documents publiés par le service de la carte géologique détaillée de la France par un comité composé de MM. Barrois, Bergeron, Bertrand, Depéret, Fabre, Fontannes. Fouqué, Gosselet, Jacquot, Lecornu, Lory. Michel-Lévy, Potier et Vélain, sous la direction de MM. JACQUOT, inspecteur général des mines, et MICHEL-LÉVY, ingénieur en chef des mines, 4 feuilles de 65 centimètres sur 60 centimètres, imprimées en 41 couleurs.

Prix : Collée sur toile et pliée. . . . . 15 fr. »

Collée sur toile, montée sur rouleaux et vernie . . . . . 20 fr. »

En feuilles.. . . . . 9 fr. 50

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY

DATE DUE

GAYLORD

3 2044 103 125 498